

Aus dem Botanischen Institut, Lehrstuhl II,
der Justus Liebig-Universität Gießen

Direktor: Prof. Dr. Lore Steubing

Der Einfluß der Ernährung und des physiologischen Alters
auf den Kohlenhydratgehalt sowie die einzelnen Kohlen-
hydratfraktionen bei einigen Gramineen und Leguminosen

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

der Naturwissenschaften der

Justus Liebig - Universität Gießen

(Fachbereich Biologie)

vorgelegt von

Günther Hehl

geb. in Freiwaldau, Tschechoslowakei

Gießen, im November 1971



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545914_0050

Aus dem Botanischen Institut, Lehrstuhl II,
der Justus Liebig-Universität Gießen

Direktor: Prof. Dr. Lore Steubing

Der Einfluß der Ernährung und des physiologischen Alters
auf den Kohlenhydratgehalt sowie die einzelnen Kohlen-
hydratfraktionen bei einigen Gramineen und Leguminosen

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

der Naturwissenschaften der

Justus Liebig - Universität Gießen

(Fachbereich Biologie)

vorgelegt von

Günther Hehl

geb. in Freiwaldau, Tschechoslowakei

Gießen, im November 1971



D 26

Dekan: Prof. Dr. H. O. Schwantes

I. Berichterstatter: Prof. Dr. L. Steubing

II. Berichterstatter: Prof. Dr. K. Mengel

Tag der mündlichen Prüfung: 8. November 1971

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	1
II. Material	4
III. Methoden	13
1.) Aufbereitung des Pflanzenmaterials für das papierchromatographische Verfahren	13
2.) Quantitative Bestimmung der Aldosen und Ketosen	17
a) Kritische Überprüfung der in der Literatur aufgeführten Methoden	17
b) Zusammenfassende Darstellung der erarbeiteten Methode	26
3.) Quantitative Stärkebestimmung	30
4.) Quantitative Zellulosebestimmung	30
5.) Mineralstoffbestimmung	31
IV. Ergebnisse	32
1.) Untersuchungen der Ernten aus dem Jahre 1968	32
a) Erträge und Mineralstoffe	32
b) Kohlenhydrate	33
2.) Untersuchungen der Ernten aus den Jahren 1969/1970	38
a) Lolium perenne: Erträge und Mineralstoffe	38
b) Lolium perenne: Kohlenhydrate	42
c) Phleum pratense: Erträge und Mineralstoffe	47
d) Phleum pratense: Kohlenhydrate	51
e) Trifolium pratense: Erträge und Mineralstoffe	56
f) Trifolium pratense: Kohlenhydrate	61
g) Medicago sativa: Erträge und Mineralstoffe	65
h) Medicago sativa: Kohlenhydrate	70
V. Diskussion	75
VI. Zusammenfassung	84
VII. Literaturverzeichnis	87

I. Einleitung

Die überragende physiologische Bedeutung der Kohlenhydrate beweist deren Bildung in einem der grundlegendsten Vorgänge der Natur, der Photosynthese. Als energiereiche Verbindungen sind die Monosaccharide Ausgangsprodukte der Glykolyse, oder sie dienen als Zwischenstufen dem Aufbau anderer lebenswichtiger Stoffe. In Form von Speicherkohlenhydraten können Oligo- und Polysaccharide angereichert werden, um für späteren Energiebedarf verfügbar zu sein. Sie bilden außerdem die Gerüstsubstanzen der pflanzlichen Zellwände. Aus der Vielfalt der Aufgaben und der zentralen Stellung im Stoffwechselgeschehen ergibt sich die weite Verbreitung der Kohlenhydrate in der belebten Welt.

Primärprodukte des Photosynthesezyklus sind als einfachste Zucker Triosen, aus denen die Hexosen Fruktose-1-6-diphosphat und Fruktose-6-phosphat hervorgehen. Unter Einwirkung des Enzyms Phosphohexose-Isomerase können durch Umlagerung Glukose-6-phosphat und schließlich Glukose-1-phosphat entstehen. Auch die Bildung anderer Monosaccharide beruht auf dem Prinzip der Katalyse durch Isomerasen (RICHTER 1969 ; MENGEL, im Druck).

Die Synthese der Oligo- und Polysaccharide erfolgt durch Anlagerung der aktivierten Monosaccharideinheiten als Zuckernukleotide an vorhandene Akzeptoren (HASSID 1967 a und b). In der osmotisch unwirksamen Form werden die löslichen Zucker fast immer zunächst als Plastidenstärke abgelagert und so bis zum Abtransport - meist als Saccharose - vorübergehend gespeichert.

Saccharose (α -Glukosido- β -Fruktosid) wird durch Übertragen von UDP-Glukose auf Fruktose oder auf Fruktose-6-phosphat gebildet (JEREMIAS 1960; HAQ a. HASSID 1965). Entsprechend erfolgt der Aufbau der Oligosaccharide aus der Raffinose-Familie durch Verbindung von UDP-Galaktose mit Saccharose (PRIDHAM a. HASSID 1965). Die Raffinose wiederum ist Ausgangsprodukt der Stachyosesynthese, bei der Galaktinol als Galaktosyldonator fungiert (KORYTNYK u. METZLER 1962; JEREMIAS 1964; HASSID 1967 a und b; SENSER u. KANDLER 1967; TANNER 1967).

Zwei Möglichkeiten der Fruktosanbildung, die z.B. im Stoffwechsel der Gramineen, einiger Kompositen und Moose eine Rolle als Speicherkohlenhydrate spielen, sind bekannt. Durch Anhängen von Fruktosylresten an Saccharose entstehen die Glukopolyfruktosane, durch Anlagerung an Difruktose dagegen die reinen Polyfruktosane (SCHLUBACH 1958 u. 1961; SCHLUBACH u. LEDERER 1960; SCHLUBACH u. BERNDT 1961; JEREMIAS 1965 a).

Bei der Biosynthese der Stärke wird ADP-Glukose an eine vorhandene Glukankette angeknüpft, während bei der Zellulose sowohl UDP-Glukose als auch GDP-Glukose als Donatoren dienen können (FEINGOLD et al. 1958; RONGINE DE FEKETE et al. 1960; RECONDO a. LELOIR 1961; NORDIN a. KIRKWOOD 1965; HASSID 1967 a und b; ORDIN a. HALL 1968; FLOWERS et al. 1968; LAMPORT 1970).

Bilden die Kohlenhydrate schon die Hauptmasse der organischen Pflanzensubstanz, so bedingen sie auch entscheidend den Nährwert der Nutzpflanzen und sind daher - direkt oder indirekt über die Tierverwertung - auch für die menschliche Ernährung von besonderem Interesse. Es ist bekannt, daß neben dem physiologischen Alter ökologische Faktoren, zu denen auch die Ernährungsbedingungen zu zählen sind, den Kohlenhydratgehalt sowie dessen Zusammensetzung entscheidend beeinflussen. Mineralische Nährstoffe können über verschiedene Prozesse Veränderungen des Gehaltes an organischen Inhaltsstoffen bewirken. Hierbei kommt der Enzymaktivierung durch anorganische Ionen eine besondere Bedeutung zu. Namentlich das Kalium übernimmt eine wichtige Funktion bei der Aktivierung von mehr als 40 Enzymen, die bei der Katalyse des Kohlenhydratstoffwechsels und des Stoffwechsels N-haltiger Verbindungen beteiligt sind (EVANS a. SORGER 1966; MARSCHNER 1968; MENGEL 1968 und 1969; NITSOS a. EVANS 1969; PFLÜGER, im Druck). Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es daher, den Einfluß des Kalium- und Stickstoffernährungszustandes auf das qualitative und quantitative Muster der Kohlenhydrate in verschiedenen höheren Pflanzen zu untersuchen. Darüber hinaus ist die direkte Abhängigkeit der einzelnen Kohlenhydratanteile vom physiologischen Alter, das durch die Stickstoffdüngung eine Verzögerung erfährt, bekannt. Im physiologisch jungen

Stadium überwiegen lösliche Zucker, im Alterszustand dagegen Polysaccharide (AMBERGER 1954, 1955; NOWAKOWSKI 1962 und 1969; JONES 1966; COOPER et al. 1967; MARTENS a. ARNY 1967; MEYER a. SPLITSTOESSER 1969; MAYR 1969).

An Arbeiten über Untersuchungen des Kohlenhydratgehaltes bei Pflanzen mit variiertem Kalium- und Stickstoffversorgungsgrad ist kein Mangel. Doch werden entweder nur die löslichen und die unlöslichen Saccharide, die reduzierenden und nicht reduzierenden Zucker neben den Gesamtkohlenhydraten oder überhaupt nur die Gesamtkohlenhydrate als N-freie Extraktstoffe nach der Weender-Analyse erfaßt. Bestimmungen in differenzierteren Formen wurden nicht durchgeführt. Daher sollte in der vorliegenden Arbeit weiterhin der Überprüfung und Verbesserung der in der Literatur vorgeschlagenen Möglichkeiten zur Auftrennung chemisch verwandter Substanzen, vor allem der chromatographischen Verfahren, besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es galt, eine Routinemethode zu erarbeiten, die eine quantitative Ermittlung der Mono-, Oligo- und Polysaccharide gewährleistet. Das Hauptproblem bestand dabei in der Kombination einer einfachen Aufarbeitung des Pflanzenmaterials und einer sauberen Trennung der Kohlenhydratfraktionen mit genauer analytischer Bestimmung.

II. Material

Versuchspflanzen

Je drei Gramineen- und Leguminosenarten, die als Nutzpflanzen weltweit verbreitet sind, wurden als Versuchsmaterial herangezogen. Sowohl in ihrem Kohlenhydrathaushalt als auch in der Art der Stickstoffernährung unterscheiden sich die Gramineen erheblich von den Leguminosen. So übernehmen in den grünen Teilen der Gräser die osmotisch unwirksamen Polyfruktosane vorübergehend die mittelfristige Speicherfunktion, während Stärke vor allem in den reifenden Pflanzen und Samen für die langfristige Speicherung der Kohlenhydrate abgelagert wird (SCHLUBACH 1958). In den Leguminosen werden dagegen keine Polyfruktosane synthetisiert. Daher versprochen die ausgewählten Pflanzen als Versuchsobjekte interessante Untersuchungsergebnisse.

Erste Anhaltspunkte für einen Einfluß der Kaliumversorgung auf den Kohlenhydratstoffwechsel sollte ein im Jahr 1968 begonnener Versuchsansatz mit 5 Pflanzenarten (Lolium perenne, Arrhenatherum elatius, Phleum pratense, Trifolium pratense und Trifolium repens) liefern, bei dem lediglich in 2 Kaliumdüngungsvarianten differenziert wurde. Die Anzucht erfolgte in Ahrgefäßen auf einem Löß - Quarzsandgemisch im Verhältnis 4 : 1 (11 kg Löß und 2,75 kg Quarzsand pro Gefäß). Die max. Wasserkapazität des Bodens betrug 27,3 %. Von jeder Pflanzenart wurden sechs Gefäße mit und sechs Gefäße ohne Kaliumdüngung ange-
setzt. Sie betrug 1 g K₂O als KCl je Gefäß. Alle Versuchsvarianten wurden mit nachstehenden Nährstoffmengen pro Gefäß abgedüngt.

1,0 g P₂O₅ als NaHPO₄ x 2H₂O

0,5 g MgO als MgSO₄ x 7H₂O

0,5 g N als NH₄NO₃ (nur bei den Gräsern)

Täglich wurde mit entionisiertem Wasser nachgegossen, so daß der Boden eine relative Wasserkapazität von 60 % aufwies.

Nach dem Überwintern der Pflanzen hatte ich den Versuchsansatz für die Vegetationsperiode 1968 übernommen. Der erste von insgesamt vier Schnitten war bereits durchgeführt. Eine tabellarische Darstellung möge eine detaillierte Übersicht über die weitere Behandlung des Untersuchungsmaterials vermitteln:

G r a m i n e e n

Jahr: (Düngergaben in g/Gefäß)

Jahr: 1968			
Datum	Lolium perenne	Arrhenatherum elatius	Phleum pratense
29.3.	Zugabe der Versuchsdüngung		
18.4.	1. Schnitt		
18.4.	N - Nachdüngung: 0,5 g N als NH_4NO_3		
8.5.	2. Schnitt (vor dem Blühstadium)		
14.5.	N - Nachdüngung: 0,5 g N als NH_4NO_3		
21.6.	3. Schnitt (Blühstadium)		
21.6.	N-Nachdüngung: 0,5 g N als $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ K-Nachdüngung: 1 g K_2O als KCl		
20.6.		3. Schnitt (Blühstadium)	3. Schnitt (Blühstadium)
26.6.		K-Nachdüngung: 0,5 g N als $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	N-Nachdüngung: 0,5 g N als $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ K-Nachdüngung: 1 g K_2O als KCl
15.9.	4. Schnitt (begin- nendes Fruchtstadium)		
24.9.		4. Schnitt (begin- nendes Fruchtstadium)	
25.9.			4. Schnitt (begin- nendes Frucht- stadium)

Leguminosen
(Düngergaben in g/Gefäß)

Jahr: 1968		
Datum	Trifolium pratense	Trifolium repens
29.3.	Zugabe der Versuchsdüngung	
18.4.	1. Schnitt	
21.4.	Bekämpfung der Schadinsekten mit 0,1 %-iger Metasystoxlösung	
20.5.	2. Schnitt (vor dem Blühstadium)	
18.6.	Bekämpfung der Schadinsekten mit 0,1 %-iger Metasystoxlösung	
23.6.		3. Schnitt (Blühstadium)
23.6.		K-Nachdüngung: 1 g K_2O als KCl
3.7.	3. Schnitt (Blühstadium)	
5.7.	N-Nachdüngung: 0,5 g N als $Ca(NO_3)_2$ K-Nachdüngung: 1 g K_2O als KCl	
13.9.	4. Schnitt (begin- nendes Fruchtstadium)	
25.9.		4. Schnitt (beginnendes Fruchtstadium)

Bei den Pflanzen waren deutliche Wachstumsunterschiede als Folge verschiedener K-Versorgung zu beobachten.

Galt der Versuchsansatz des Jahres 1968 lediglich einer Orientierung über den Grad des Kaliumeinflusses auf den Kohlenhydrathaushalt, so sollte in einer weiteren Versuchsreihe 1969 einer differenzierteren Fragestellung mit gezielten Vegetationsexperimenten nachgegangen werden. Die Gramineen *Lolium perenne* und *Phleum pratense* sowie die Leguminosen *Trifolium pratense* und *Medicago sativa* lieferten das Untersuchungsmaterial. Die Pflanzen wurden in Ahrgefäßen auf einem Boden aus 80 % humosem Sand (aus der Heide bei Berkhof) und 20 % grobem, reinem Quarzsand herangezogen. Als Grunddüngung für die 15 kg Boden pro Gefäß diente ein Gemisch folgender Nährsalze:

A) Gramineen

2 g P_2O_5 als $CaHPO_4$ x 2 H_2O
 1 g MgO als $MgSO_4$ x 7 H_2O
 2 mg B als H_3BO_3
 25 mg Cu als $CuSO_4$ x 5 H_2O
 25 mg Mn als $MnSO_4$ x 1 H_2O
 50 mg Fe als Fe^{3+} - Ziträt

B) Leguminosen

2 g P_2O_5 als $Ca(H_2PO_4)_2 + 2 CaSO_4$
 0,5g N als NH_4NO_3
 2 g MgO als $MgCO_3$
 2 mg B als H_3BO_3
 25mg Cu als $CuSO_4$ x 5 H_2O
 25mg Mn als $MnSO_4$ x 1 H_2O
 30mg Fe als Fe^{3+} - Ziträt
 2 mg Mo als $(NH_4)_2MoO_4$
 25mg Co als $Co(NO_3)_2$ x 6 H_2O

Bei den Gräsern wurden vier verschiedene Stickstoffdüngungsstufen und innerhalb jeder dieser Stickstoffvarianten drei Kaliumsteigerungsstufen angelegt. Als Versuchsdüngung dienten folgende Nährsalzkombinationen:

$N_{0,5} K_0$	$N_{0,5} K_2$	$N_{0,5} K_4$
$N_{1,0} K_0$	$N_{1,0} K_2$	$N_{1,0} K_4$
$N_{1,5} K_0$	$N_{1,5} K_2$	$N_{1,5} K_4$
$N_{2,0} K_0$	$N_{2,0} K_2$	$N_{2,0} K_4$

Die N- und K- Gaben je Gefäß betrugen:

$$N_{0,5} = 0,5 \text{ g N als } NH_4NO_3$$

$$N_{1,0} = 1,0 \text{ g N als } NH_4NO_3$$

$$N_{1,5} = 1,5 \text{ g N als } NH_4NO_3$$

$$N_{2,0} = 2,0 \text{ g N als } NH_4NO_3$$

$$K_0 = \text{keine K - Zugabe}$$

$$K_2 = 2 \text{ g } K_2O \text{ als KCl}$$

$$K_4 = 4 \text{ g } K_2O \text{ als KCl}$$

Auf jede Düngungsvariante entfielen 4 Gefäße.

Da die Rhizobien die Stickstoffversorgung bei Leguminosen übernehmen, erhielten Rotklee und Luzerne neben der Grunddüngung lediglich Kaliumgaben in 5 Steigerungsstufen.

Versuchsdüngung der Leguminosen:

$$1) K_0 = \text{keine K-Zugabe}$$

$$2) K_1 = 1 \text{ g } K_2O \text{ als KCl}$$

$$3) K_2 = 2 \text{ g } K_2O \text{ als KCl}$$

$$4) K_3 = 3 \text{ g } K_2O \text{ als KCl}$$

$$5) K_4 = 4 \text{ g } K_2O \text{ als KCl}$$

8 Gefäße wurden für jede Kaliumvariante angesetzt.

Eine Übersicht über die Entwicklung der Pflanzen und ihre Behandlung während der Jahre 1969/70 zeigt die nachstehende Tabelle:

G r a m i n e e n

Jahre: 1969/70 (Düngergaben in g/Gefäß)

Datum	Lolium perenne	Phleum pratense
17.4.	verspätete Aussaat wegen des langen Winters	
27.4.	gleichmäßiges Auflaufen, Höhe ca. 3 cm	ungleichmäßiges Auflaufen, Höhe ca. 1-2 cm
5.5.	Vereinzeln der Pflanzen	
9.5.	keine erkennbaren Düngeeffekte, Höhe ca. 8 cm	Fehlstellen in einzelnen Gefäßen, Höhe ca. 5 cm
15.5.	keine sichtbaren K-Düngeeffekte, sichtbare N - Düngeeffekte, Höhe ca. 15 - 20 cm	keine K-Düngeeffekte, bestes Wachstum in der N _{0,5} -Stufe, Höhe ca. 8-10 cm
15.5.	Versuch auf 60 % der maximalen Wasserkapazität gebracht ($WK_{max} = 34,1 \%$)	
24.5.	Wachstumsabfall in den höchsten N-Düngungsstufen	Wachstumsabfall und Fehlstellen in den höchsten N-Düngungsstufen
9.6.	1. Schnitt	
10.6.	N-Nachdüngung als NH_4NO_3 für die Stufen: N _{0,5} = 0,25 g N; N ₁ = 0,5 g N N _{1,5} = 0,75 g N; N ₂ = 1 g N	
11.6.		1. Schnitt
11.6.		N-Nachdüngung als NH_4NO_3 für die Stufen: N _{0,5} = 0,25 g N; N ₁ = 0,5 g N N _{1,5} = 0,75 g N; N ₂ = 1 g N
21.6.	gut erkennbare Düngeeffekte, bestes Wachstum in den höchsten Düngungsstufen	

G r a m i n e e n

(Düngergaben in g/Gefäß)

Jahre: 1969/70		
Datum	Lolium perenne	Phleum pratense
12.7.	N- und K - Mangelsymptome in den niederen Düngungsstufen	
29.7.	2. Schnitt (im Jahr der Aussaat unter- blieb die Blütenbildung)	2. Schnitt (Blühstadium)
30.7.	N - Nachdüngung wie am 10.6.	
8.9.	gutes Wachstum und erkennbare Düngeeffekte	
10.9.	3. Schnitt (nicht ausgewertete Zwischenernte)	
11.9.	N - Nachdüngung wie am 10.6. K - Nachdüngung als K_2SO_4 für die Stufen: $K_0 = 0,5 \text{ g } K_2O$; $K_2 = 2 \text{ g } K_2O$; $K_4 = 4 \text{ g } K_2O$	
Dezemb. - Januar	Die Pflanzen zeigen eine geringere Größe als zur Hauptvegetationszeit. Den besten Wuchs weisen die höchsten K- und N-Varianten auf, während in den niederen N-Stufen die Blätter bereits vergilbt sind.	
27.1.	4. Schnitt (nach einer längeren Kälteperiode)	

L e g u m i n o s e n

(Düngergaben in g/Gefäß)

Jahre: 1969/70		
Datum	Trifolium pratense	Medicago sativa
17.4.	verspätete Aussaat wegen des langen Winters	
22.4.	Beimpfen mit Rhizobien	
27.4.	gleichmäßiges Auflaufen, Höhe ca. 1 cm	gleichmäßiges Auflaufen, Höhe ca. 2 cm
6.5.	Vereinzeln der Pflanzen	
15.5.	Versuch auf 60 % der maximalen Wasserkapazität gebracht ($WK_{max} = 34,1 \%$)	
24.5.	deutliche K-Düngereffekte, geringer Wuchsabfall bei den höchsten K-Gaben	
28.5.	Bekämpfung der Blattläuse mit 0,1 %-iger Metasystoxlösung	
1.6.	K - Mangelsymptome in der untersten K - Stufe, Absterben einiger Pflanzen in den höheren K-Stufen	
12.6.		1. Schnitt N-Nachdüngung: 0,5 g N als NH_4NO_3
17.6.	1. Schnitt N-Nachdüngung: 0,5 g N als NH_4NO_3	
12.7.	gutes Wachstum in den mittleren, Fehlstellen in den höchsten und K-Mangelsymptome in der niedersten K - Stufe	
12.7.	Blütenansatz	
25.7.	Bekämpfung der Blattläuse mit 0,1 %-iger Metasystoxlösung	
30.7.	2. Schnitt (Blühstadium)	
31.7.		2. Schnitt (Blühstadium)

L e g u m i n o s e n
(Düngergaben in g/Gefäß)

Jahre:
1969/70

Datum	Trifolium pratense	Medicago sativa
14.8.	K - Nachdüngung als K_2SO_4 : $K_0 = 0,5 \text{ g } K_2O$; $K_1 = 1,0 \text{ g } K_2O$; $K_2 = 2,0 \text{ g } K_2O$; $K_3 = 3,0 \text{ g } K_2O$; $K_4 = 4,0 \text{ g } K_2O$	
8.9.	ausgezeichnete K-Düngereffekte, bestes Wachstum in den K_4 - Stufen	
9.9.	geringer Mehltaubefall	
10.9.	3. Schnitt (nicht ausgewertete Zwischenernte)	
23.10	starker Mehltaubefall	
11.12.	größte Pflanzen in der K_4 -Stufe; grüne, nur ver- einzelt trockene Blätter	
18.12.	4. Schnitt (nach einer längeren Kälteperiode)	
19.12.	Ernte der Wurzeln aus je 2 Gefäßen jeder Variante	
22.12.		Ernte der Wurzeln aus je 2 Gefäßen jeder Variante
Dezemb. - April	Überwintern der Gefäße, deutliche Düngereffekte beim Wiederaustrieb	
24.4.	5. Schnitt	

III. Methoden

1.) Aufbereitung des Pflanzenmaterials für das papier-chromatographische Verfahren

Zu Beginn der Versuchsserie des Jahres 1968 war noch keine rationelle Methode für eine gefahrlose Konservierung des Pflanzenmaterials und dessen Extraktion erarbeitet. Um eventuelle Gefahren der Veränderung im Kohlenhydratgehalt auszuschließen, erfolgte die Aufbereitung nach einem bewährten, wenn auch umständlichen Verfahren. Von den sechs Gefäßen jeder Düngungsvariante wurden - stets in der Zeit von 10⁰⁰ - 12⁰⁰ Uhr - zwei Mischproben von etwa 40 g Frischsubstanz entnommen und nach exakter Wägung dreimal für jeweils 24 Stunden in 300 ml 75 %-igem, zimmerwarmem Äthanol extrahiert. Am Rotationsverdampfer wurden die vereinten Extrakte im Vakuum bei 40°C zur Trockne eingedampft (SCHLUBACH u. GASSMANN 1953; BELL 1955; HEILENZ et al. 1968; MENGEL u. HELAL 1968). Beim Aufnehmen des Rückstandes in 50 ml Wasser und 30 ml Chloroform gingen alle lipophilen Stoffe in die Chloroformphase. Diese Lösungen wurden bei -20°C in luftdichten Polyäthylenflaschen bis zur späteren papierchromatographischen Weiterverarbeitung aufbewahrt (HEBER 1958; SCHULZE 1964). Die Extraktionsrückstände wurden verworfen.

Nach dem Auftauen und der Klärung der Extrakte wurde aus der wäßrigen Phase ein Aliquot von 40 ml Lösung abpipettiert und im Vakuum bei 40°C vollständig eingedampft. Eine weitere Reinigung für die Chromatographie erübrigte sich. Der in 8 ml Wasser und circa 10 ml Chloroform aufgenommene Rückstand ließ sich gefahrlos bis zum Auftragen auf das Papier im Kühlschrank aufbewahren.

Für das Aufarbeiten der Proben des Jahres 1969 lag eine geeignetere Methode für die Konservierung der Pflanzen vor. Zur Ausschaltung der Tagesrhythmik erfolgten die Ernten wiederum zur gleichen Tageszeit (Beginn 10⁰⁰ Uhr). Zwei Mischproben (aus je zwei Gefäßen jeder Düngungsvariante bei den Gräsern und je vier Gefäßen bei den Leguminosen) von 100 - 200 g Frischsubstanz lieferten das Untersuchungsmaterial. Sofort nach genauer Ermittlung der frischen Pflanzenmasse wurden die Proben in Gazebeuteln einer Temperatur von 60°C im Frisch-

luftofen ausgesetzt. Eine lockere Lagerung der Pflanzen gewährleistet eine rasche Trocknung. Mit der Bestimmung der Trockenmasse, dem Zermahlen des Materials und dem Überführen in Plastikflaschen war eine optimale Konservierung erreicht. Diese schnelle, unkomplizierte Methode der Aufbereitung, die nach Aussagen mehrerer Autoren sogar noch höhere Trocknungstemperaturen zuläßt, erlaubt ein gleichzeitiges Verarbeiten vieler Proben (JOHAM 1957; WAITE 1958; JEREMIAS 1959 und 1965 b; ABRAHAMSEN a. SUDIA 1966; KULL 1968; NELSON a. SMITH 1968; PAULSEN a. SMITH 1968; NOWAKOWSKI 1969; ZANONI et al. 1969).

Von verschiedener Seite wird auf die Gefahren der enzymatischen Veränderung in der Zusammensetzung der organischen Pflanzeninhaltsstoffe hingewiesen, die schließlich jede Art der Konservierung birgt. Die spätere Analyse der zu untersuchenden Stoffe könnte somit in Frage gestellt sein. Diese Gefahr soll man jedoch nicht überbewerten. So sehen manche Autoren die Gefriertrocknung als einzige Möglichkeit an, Fehlerquellen auszuschalten (SCHEFFER et al. 1959; NOWAKOWSKI 1962; MÜLLER 1963; HOLT a. HILST 1969; MEYER a. SPLITT-STOESSER 1969). Am sichersten ist die sofortige Äthanolextraktion des Frischmaterials. Die beiden erwähnten Aufbereitungsmethoden sind gut, für Serienuntersuchungen im großen Maßstab aber entschieden zu aufwendig.

Erwiesen ist, daß bei Beachten der entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen die Trocknung bei 60°C im frischen Warmluftstrom zu keinen nennenswerten Verlusten führt. Da bei rascher Entwässerung der Pflanzen auch die Zellsaftlösung schnell stark konzentriert wird, kommen damit gleichzeitig die nur in wäßrigem Medium ablaufenden enzymatischen Prozesse zum Erliegen. Zumindest lassen sich mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Methoden der Kohlenhydratbestimmung keine meßbaren quantitativen Unterschiede feststellen, was sowohl eigene Versuche als auch verschiedene Literaturangaben bestätigen (JEREMIAS 1959 und mündl. Mitteilung; KULL 1965 und 1968; NOWAKOWSKI 1969). Allzu große Vorsicht bei der Aufarbeitung des Pflanzenmaterials erscheint vor allem dann nicht gerechtfertigt, wenn sich eine nur zur Orientierung geeignete Methode für die Zuckerbestimmung, wie z.B. die Auswertung von Keilstreifen in situ, anschließt (MÜLLER 1963; vgl. dazu auch MATTHIAS 1954 a und b, 1956; AUGSTEIN 1967).

Bei der Weiterverarbeitung der durch Lufttrocknung erhaltenen Pflanzenproben wurde ein möglichst vollständiges und schonendes Herauslösen der niedermolekularen Kohlenhydrate angestrebt. Für die Leguminosen bot sich die altbewährte Extraktion mit 75 %-igem Äthanol bei 20°C an, die zufriedenstellende Ergebnisse erbrachte. 2 g lufttrockener Substanz wurden zweimal mit 50 ml Äthanol 30 Minuten auf der Schüttelmaschine extrahiert, die Lösungen abzentrifugiert und vereinigt. Da die Gramineen jedoch auch die in kaltem 75 %-igem Äthanol weniger gut löslichen Polyfruktosane enthalten, wurde eine der Alkoholextraktionen durch eine Wassereextraktion ersetzt, wobei beide Lösungsmittel vor dem Schüttelvorgang auf 60°C im Wasserbad zu erwärmen waren.

Die auf die Weise erreichte Extraktion ist für die gewünschte Kohlenhydratbestimmung vollkommen ausreichend. Zudem benötigt man wenig Zeit und apparativen Aufwand. Schon bei einmaliger Zuckerextraktion aus Pflanzentrockenmaterial mit der 10 - fachen Menge 60 %-igen Äthanol sind nach 20 Minuten Schütteln im Nachextrakt keine nennenswerten Zuckermengen mehr nachweisbar (JEREMIAS, mündl. Mitteilung). Einige Autoren ziehen die Mehrfachextraktion mit fallenden Äthanolkonzentrationen vor, um die Polyfruktosane vollständig herauslösen zu können. Andere wählen weit umständlichere Verfahren, indem sie die Pflanzensubstanz mehrere Stunden lang mit Hilfe der Soxhlet-Apparatur und unterschiedlich konzentriertem Äthanol auslaugen. Dabei ist jedoch die Möglichkeit des Stärkeverlustes gegeben, sobald mit Wasser bei Siedetemperatur extrahiert wird. Um einer angeblich vorhandenen Hydrolysegefahr der Kohlenhydrate durch vorhandene organische Säuren vorzubeugen, setzen manche Forscher der Extraktionsflüssigkeit $MgCO_3$ oder $CaCO_3$ zu (SCHEFFER et al. 1959; MÜLLER 1963; SMITH a. GROTELUESCHEN 1966; TRIONE 1966; AUGSTEIN 1967; MEYER a. SPLITTSTOESSER 1969). Bedacht wird offensichtlich nicht, daß die organischen Säuren zum allergrößten Teil in Form von Neutralsalzlösung vorliegen. Diese Vorsichtsmaßnahme dürfte vor allem dann wenig sinnvoll sein, wenn bei der anschließenden chromatographischen Bestimmung ohne Bedenken Essig- und gar Ameisensäure im Laufmittel verwendet werden.

Die im Anschluß an die Trocknung und Extraktion des Pflanzenmaterials erfolgende Weiterverarbeitung begann mit dem Eindampfen

der vereinten Extrakte am Rotationsverdampfer. Nach dem Aufnehmen des Rückstandes mit 2 ml Wasser und 4 ml Chloroform und dem Abzentrifugieren wurde die klare, wäßrige Lösung abpipettiert, mit wenig Chloroform zur Konservierung versetzt und kühl bis zur chromatographischen Verarbeitung aufbewahrt. Die so gewonnenen hell- bis dunkelbraunen Extrakte bedürfen keiner weiteren Reinigung. Sie liegen in der gewünschten starken Konzentration vor, die erforderlich ist, um mit möglichst geringen Auftragsvolumina auszukommen.

Eine Reinigung über Aktivkohle wird verschiedentlich vorgeschlagen, bei der einem relativ verdünnten Extrakt, zur Verhinderung von Zuckeradsorption an Kohle mit Propanon versetzt, Merck's Clarocarbon F zugefügt wird (JEREMIAS 1959). Der Extrakt ist anschließend beinahe farblos. Es hat sich jedoch bei der Nachprüfung gezeigt, daß die durch Phenolverbindungen hervorgerufene Eigenfärbung bei der Papierchromatographie nicht stört. Für die bearbeiteten, stark konzentrierten Extrakte käme eine Reinigung über Kohle ohnehin wegen der Gefahr der Zuckeradsorption, die mit zunehmender Molekülgröße anwächst, nicht in Frage. Wegen der optimalen Trennung der Zucker auf den Papierchromatogrammen erübrigte sich die in der Literatur häufiger empfohlene Entsalzung der Lösungen über Ionenaustauscher. Nach Hais - Macek beeinträchtigen bis zu 5 % Neutralsalze im Extrakt das chromatographische Verfahren nicht (HAIS u. MACEK 1958; LINSKENS 1959).

2.) Quantitative Bestimmung der Aldosen und Ketosen

a) Kritische Überprüfung der in der Literatur aufgeführten Methoden

Es wird des öfteren in Arbeiten, die sich mit der quantitativen Bestimmung von Kohlenhydraten aus Pflanzenmaterial befassen, auf große methodische Schwierigkeiten hingewiesen. Sie ergeben sich sowohl bei der Analyse der löslichen als auch der unlöslichen Kohlenhydrate. Genaue Angaben über Zuckergehalte sind deshalb so schwer zu erhalten, weil diese Substanzen sich in ihren chemisch - physikalischen Eigenschaften sehr ähneln. Daher wurde besonders in älteren Arbeiten - häufig aber auch noch heute - lediglich zwischen reduzierenden und nicht reduzierenden Zuckern unterschieden (MOONEY a.BILLINGS 1960; MEINL 1963; MacLEOD 1965 a und b; POTTER u.LONG 1967; SOUTHGATE 1969; LEFEBVRE-DROUET 1970; UENO a. SMITH 1970 a und b). Einen noch geringeren Aussagewert besitzt die Differenzmethode (Weender Analyse), bei der der N-freie Extrakt gleich dem Gesamtkohlenhydratgehalt gesetzt wird (NEHRING 1960).

An die Aufbereitung des Pflanzenmaterials schließt sich die Analyse der Zucker an, bei der die Probleme der Auftrennung, der Identifizierung und der anschließenden quantitativen Bestimmung der Kohlenhydrate auftauchen. Für die Auftrennung eignen sich am besten chromatographische Verfahren, von denen sich folgende Möglichkeiten anbieten:

1) Dünnschichtchromatographie

2) Säulenchromatographie

a) mit geeigneten Trägermaterialien

b) mit Ionenaustauschern

3) Gaschromatographie

4) Papierchromatographie

Vor- und Nachteile der Dünnschichtchromatographie

Der Anwendungsbereich der Dünnschichtchromatographie dürfte sich wohl vorzugsweise auf qualitative Untersuchungen erstrecken, wie verschiedene Veröffentlichungen beweisen, die sich mit der quantitativen Bestimmung nach dieser Methode befassen (STROH u.SCHÜLER 1965; TORE 1965; WALKER et al. 1965; VOMHOF a. TUCKER 1965; WOHNLICH 1967; WASHÜTTL et al. 1970). Die Ergebnisse erscheinen oft schon wegen mangelhafter Auftrennung wenig überzeugend. Da die Platten zudem in situ

ausgewertet werden müssen, erhöht sich der Fehler (KOWKABANY 1954; HAIS u. MACEK 1958). Exakter wäre die Anfärbung und Ermittlung der Zucker mit erprobten Mitteln nach Extraktion der einzelnen Flecken (NYMAN 1969), wenn die aufgetragenen Mengen mit 5 - 50 μ je Zucker nicht so niedrig gehalten werden müßten (LEWIS u. SMITH 1967).

Der Vorteil der Dünnschichtchromatographie für qualitative Analysen liegt in der Zeitersparnis. Auf Zelluloseschichten ergeben sich gleichartige Trennungen wie auf Papier. Gute Trenneffekte, verbunden mit der Möglichkeit, auch aggressive Sprühmittel zur Sichtbarmachung der Zucker zu verwenden, gewährleisten auch mit Salzen imprägnierte Kieselgelschichten, Maddrellsches Salz auf gerauhter Glasfläche oder gar gerauhte Glasflächen selbst (HESSE et al. 1966; STAHL 1967; WOHNLICH 1967). Für die eigenen Untersuchungen war die Dünnschichtchromatographie aus den aufgeführten Gründen unbrauchbar.

Anwendungsbereich der Säulen- und Gaschromatographie

Der Säulenchromatographie mit dicken Trägerschichten kommt in erster Linie präparative Bedeutung zu (BINKLEY 1955; SAUNDERS 1968). In neuerer Zeit ist auch die Gaschromatographie für die Kohlenhydratbestimmung zugänglich geworden, nachdem das Silylverfahren vor allem die einfachen Zucker in die dafür geeignete Form der Trimethylsilyl-Derivate zu überführen gestattet, die dann leicht und schnell zu analysieren sind (KLEINSCHMIDT et al. 1968; Gheorghiu u. Oette 1970; SABBE a. CATHEY 1970; STÖSSER u. NEUBELLER 1971). Nachteilig ist hier vor allem neben dem großen apparativen Aufwand die spezielle Aufarbeitung des Materials. Für die eigenen Serienanalysen war diese Methode nicht geeignet, zumal nicht nur Mono- und Disaccharide erfaßt werden sollten.

Die Papierchromatographie

Die altbewährte, wenn auch ein wenig langwierige Methode der Papierchromatographie wird von den meisten Forschern angewandt. Sie liefert bei geringstem apparativem Aufwand die besten Ergebnisse. Aus Gründen der Zeitersparnis mußte die zweidimensionale Papierchromatographie ausscheiden, die zweifellos zu optimalen Resultaten führt. JAYME u. KNOLLE (1956) berichten über gute Trennerfolge auf Glasfaserpapier.

Ihr Verfahren kam jedoch wegen einer etwas schwierigen Handhabung für die Durchführung der vorliegenden Untersuchungen nicht in Betracht.

Wahl der Chromatographiepapiere

Das Gelingen eines Papierchromatogrammes hängt nicht unwesentlich von der Wahl der Papierqualität ab. Unterschiede bestehen nicht nur bei den einzelnen Sorten einer Herstellerfirma, sondern auch bei gleichen Sorten verschiedener Fabrikanten. Als besonders bewährte Papiere gelten " Whatman 1 " oder entsprechende anderer Firmen wie " Schleicher und Schüll 2043 a und 2043 a Mgl " bzw. " MN 261 ". Für quantitative Zwecke werden bevorzugt die dickeren Papiere " Schleicher und Schüll 2043 b Mgl " und " MN 214 " verwendet. In eigenen Untersuchungen erwies sich das Fabrikat " Schleicher und Schüll 2043 b Mgl " als das geeignetste; die Trenneffekte waren stets gleich gut, Schwankungen nie festzustellen. Ungleichmäßigere Trennungen wurden mit dem Papier " MN 214 " erzielt, während auf dem dünnen " Whatman 1 " die Flecken zu groß und unscharf waren.

Wahl des Laufmittels

Mit den unterschiedlichen Papiersorten wurden gleichzeitig mehrere, in der Literatur als besonders geeignet dargestellte Laufmittel kritisch überprüft. Der Wahl des richtigen Fließmittels kommt eine noch größere Bedeutung zu als der des Papiers. Die Dreikomponenten-Laufmittel und wassergesättigtes Phenol scheinen besonders beliebt. Leider ließ sich damit in keinem Falle die gewünschte Trennung der zu bestimmenden Zucker erzielen. Bekanntlich ist die Papierchromatographie eine Verteilungschromatographie, bei der die zu trennenden Substanzen zwischen zwei flüssigen Phasen, einer stationären und einer mobilen, verteilt werden. Die stationäre Phase ist die mit Wasser getränkte Papierzellulose, während die mobile Phase das Lösungsmittelgemisch darstellt. Bei der Trennung spielen sich folgende Vorgänge ab: Erreicht die Laufmittelfront den Startpunkt, lösen, das heißt verteilen sich die Moleküle der einzelnen Zuckerkomponenten sowohl in der durchlaufenden mobilen als auch in der stationären Phase. Der Verteilungskoeffizient ist für jede der Komponenten eine Konstante, die Konstanten sind jedoch untereinander - und das ist für eine gute Trennung wesentlich - verschieden. Die in der mobilen Phase befindlichen

Anteile wandern auf dem Chromatogramm mit. Der Gleichgewichtszustand der gelösten Anteile in den beiden Phasen ist gestört und muß sich erneut einstellen. In einiger Entfernung vom Startpunkt geht die Substanz aus der mobilen Phase wieder in die stationäre über, wird aber wieder von der nachströmenden mobilen Phase gelöst. Auf diese Weise wandern die Stoffe als "Flecke" mit unterschiedlicher Geschwindigkeit der Komponenten des Gemisches auf dem Chromatogramm weiter. Die Wanderungsgeschwindigkeit ist durch den R_F -Wert gekennzeichnet. Je mehr Moleküle der Substanz sich während des Gleichgewichtszustandes in der mobilen Phase befinden, desto größer ist der R_F -Wert. Er ist definiert als Quotient der Entfernung des Substanzfleckes (S_f) vom Start dividiert durch die Entfernung der Lösungsmittelfront (L_f) vom Start. Er ist daher stets kleiner als 1.

Also:

$$\frac{S_f}{L_f} < 1$$

Zur Trennung der hydrophilen Kohlenhydrate sind polare Fließmittel erforderlich. Runde, saubere Flecken zu erhalten, ist schwierig, da alle Komponenten, also Kohlenhydrate, Papier und Fließmittel polar bzw. hydrophil sind. Bei Laufmitteln mit geringer Wasserkapazität bleiben die Zucker näher am Start (HAIS u. MACEK 1958). Es treten Assoziations- und Adsorptionsvorgänge auf, die sich in der sogenannten Schwanzbildung äußern.

Nur durch systematische Versuchsreihen mit Testsubstanzen und Pflanzenextrakten ließ sich ein geeignetes Fließmittel herausfinden. Auf die herkömmlichen Gemische mußte bei den Analysen zugunsten der Mehrfachkomponentengemische verzichtet werden. Im Interesse einer schnelleren Trennung wurden organische Solventien geringer Viskosität bevorzugt. Daß aus mehr als drei Bestandteilen zusammengesetzte Laufmittel ihre Berechtigung haben, zeigen GIOVANNI (1956), FINK et al. (1963), VOMHOF a. TUCKER (1965), KLIEWER (1966). R_F -Wert-Tabellen lieferten wichtige Hinweise für die Auswahl der Gemische (PARTRIDGE a. WESTALL 1948; JERMIN a. ISHERWOOD 1949; ALBON a. GROSS 1952; KOWKABANY 1954; GIOVANNI 1956; GORDON et al. 1956; LOVING et al. 1956; HAIS u. MACEK 1958; STANGE 1959; LENK 1961; FINK et al. 1963; CHALIHA et al. 1965; LEWIS u. SMITH 1967).

Ein Standardfließmittel aus sechs Komponenten erwies sich bei der Analyse von Extrakten mit einem breiten Kohlenhydratspektrum als besonders brauchbar (Papiere: MN 214, Schleicher und Schüll 2043 b Mgl):

Äthylazetat : Essigsäure : Azeton : Wasser : Isopropanol : n-Butanol = 4 : 3 : 3 : 3 : 2 : 1 (V/V).

Geringfügige Änderungen der quantitativen Zusammensetzung führen zu Lösungsmitteln, die im Spezialfall bessere Trennungen gewährleisten. So wurden für die Bestimmung der Ketosen aus Leguminosen- und Gramineenextrakten anstelle der drei nur 2,5 Teile Wasser gewählt, wodurch die Mannoheptulose gut zwischen Saccharose und Fruktose zu erkennen war. Selbst die Sedoheptulose, etwas über der Fruktose liegend, war deutlich von den anderen Zuckern zu unterscheiden. (Papiere: MN 214 und Schleicher und Schüll 2043 b Mgl).

Unabhängig von den Ketosen sollten die Glukosewerte ermittelt werden. Damit diese Aldose gegenüber der Fruktose einen genügend kleinen und gegenüber der Saccharose einen genügend großen R_f -Wert besitze, wurden wiederum nur 2,5 Teile Wasser verwendet und zudem die Essigsäure durch die längerkettige Propionsäure ersetzt. Die infolgedessen geringere Wanderungsgeschwindigkeit aller Zucker, jedoch relativ größere der Monosaccharide führte zu den gewünschten Trennerfolgen. (Papiere: MN 261, Schleicher und Schüll 2043 a und 2043 a Mgl).

Gelegentlich taucht die Befürchtung auf, Essigsäure oder andere organische Säuren im Laufmittel könnten eine Hydrolyse der Zucker hervorrufen. Die Ergebnisse durchgeführter Testversuche unter den genannten Bedingungen lassen diese Furcht unbegründet erscheinen.

Die Technik des Auftrags

=====

Einen großen Vorteil beim Herstellen der Chromatogramme bieten die Auftragetische mit Temperaturregler, mit deren Hilfe gleichzeitig eine Serie von Extraktaliquoten auf das Papier gebracht werden kann (MÜLLER 1963). Die günstigste Auftragsmenge darf 1500 μ an Gesamtkohlenhydraten nicht übersteigen (HAIS u.MACEK 1958), ist also in Vorversuchen zunächst zu ermitteln. Bei starker Konzentration der Zuckergemische sind nur geringe Auftragsvolumina erforderlich, durch die - von einer beachtlichen Zeitersparnis abgesehen - die Möglichkeit gegeben ist, den Fleckendurchmesser gering zu halten. Nach eigenen

Erfahrungen darf er die Größe von 1 cm ϕ jedoch durchaus erreichen, aber sie nicht wesentlich überschreiten.

Um den bei minimalen Ausgangsmengen relativ großen Pipettierfehler auszuschalten, wurden besondere Mikrokapillaren aus Kapillarenglasrohr ausgezogen, in kleinere Stücke zerteilt, auf 5, 10 bzw. 20 μ l geeicht, an den Enden abgeschmolzen und zur Reinhaltung in 50 %-igem Äthanol aufbewahrt. (Eine farbige Flüssigkeit, deren Säule im Kapillarrohr mit einem Vergleichsvolumen übereinstimmen muß, gewährleistete eine exakte Eichung.) Bequem und genau läßt sich damit ein vorgegebenes Extraktvolumen auf das Chromatogramm auftragen, wenn man das eine Ende der Mikrokapillare so lange schräg in die Analysenlösung taucht, bis sie vollgesogen ist, danach das andere Ende auf das Papier aufstupft und das Röhrchen leerlaufen läßt.

Bei absteigender Chromatographie betrug die Entwicklungszeit je nach Fließmittel und Papier zwischen 18 und 25 Stunden (22°C im Chromatographieraum). Vorheriges Äquilibrieren erwies sich als unnötig. Es wurde stets auf beginnenden Durchlauf chromatographiert. Da die Laufzeiten nie gleichmäßig konstant waren, wurde ein genau dosiertes Volumen des Lösungsmittels in die Laufrinne gegeben und gewartet, bis es aufgebraucht war.

Die Identifizierung der Zucker auf dem Chromatogramm

Zum Erkennen der Flecken auf dem Papier dienten nach der Prüfung aller in Frage kommenden Möglichkeiten zwei der bekanntesten Farbreaktionen, die Zucker beim Erhitzen mit organischen Reagenzien und Säuren geben (PARTRIDGE 1949; KLEVSTRAND a. NORDAL 1950; GARDELL 1951; BEVENUE a. WILLIAMS 1951; BUCHAN a. SAVAGE 1952; NORDAL a. KLEVSTRAND 1952; DISCHE 1953 und 1962; BAILEY a. BOURNE 1960; BENEDICT et al. 1961; CHAN a. CAIN 1961; BAILEY 1958 b und 1962; HOUGH a. JONES 1962).

Als Nachweisreagenzien für Ketosen gelten Phenole und Säuren. Für die eigenen Untersuchungen bewährte sich ein Gemisch aus 2 g Orzin, 60 g Trichloressigsäure, 20ml Wasser, mit absolutem Äthanol auf 500ml aufgefüllt. Das Chromatogramm muß gleichmäßig angesprüht und 20 Minuten bei 105°C getrocknet werden. Als Nachweisreagenzien für Aldosen eignen sich aromatische Amine und Säuren; verwendet wurde ein Gemisch aus 5ml Anilin, 8 g Phthalsäure, 20ml Wasser, mit absolutem Äthanol auf

500ml aufgefüllt. Nach dem Trocknen (10 Minuten bei 105°C) sind die Farbflecke gut sichtbar.

Die Identifikation der unbekannten Zucker im Pflanzenextrakt ermöglicht ein Vergleich mit Testzuckern, die einzeln oder im Gemisch auf dem Chromatogramm mitlaufen.

Quantitative Bestimmung der Ketosen

=====

Zunächst bot sich die quantitative Auswertung der Chromatogramme in situ an, also die direkte photometrische Bestimmung der gebildeten Farbflecke oder des Farbstoffes nach Extraktion der entsprechenden Papierabschnitte (ALDERS u. FREISKORN 1959; MÜLLER 1963; WASHÜTTL et al. 1970). In der Literatur wird immer wieder auf die Vorteile dieser Methodik, die in sicherem Erkennen der Zucker sowie in einer zeitsparenden Analytik zu sehen sind, hingewiesen (WILSON 1959). Aufgrund eigener Erfahrungen muß jedoch hervorgehoben werden, daß zumindest die Ergebnisse der Ketosen mit einem viel zu großen Fehler behaftet und selbst bei sorgfältigstem Einhalten aller einmal standardisierten Bedingungen kaum reproduzierbar sind, was JEREMIAS bestätigte (JEREMIAS, schriftliche Mitteilung).

Für die exakte Ermittlung der Ketosen blieb daher nur der indirekte Weg, nämlich das blinde Herauslösen der Zucker aus dem Papier, das Anfärben durch Orzinreagenz und die anschließende Photometrie (BARRENSCHEEN u. VALYI-NAGY 1949; JEREMIAS 1956 und 1959). Gleiche Teile Ketoselösung und Orzinreagenz (2 g Orzin, 10ml 4.10⁻² molare CuCl₂-Lösung mit konz. HCl auf 1 l aufgefüllt) werden dafür im Prüfglas vermischt und 10 - 15 Minuten lang im Wasserbad (100°C, heftig kochend) erhitzt. Die entstehende braune Farbe ist bei 380 nm zu messen. Geringe Aldosemengen beeinträchtigen die gut reproduzierbaren Ergebnisse nicht. Ein Verlängern der Erhitzungsdauer bis zu 30 Minuten erbrachte in Testversuchen keine Extinktionsänderung mehr, woraus zu schließen ist, daß ein Überschreiten dieser Zeit keinen Einfluß auf die Intensität des Farbkomplexes hat.

Andere Methoden zur quantitativen Bestimmung der Ketosезucker nach deren Extraktion aus den Chromatogrammen boten sich nicht an (WHISTLER a. WOLFROM 1962). Ihre Durchführbarkeit ist entweder zu umständlich oder mit zu vielen Fehlern behaftet (vgl. auch

WANNER 1952; SCHMIDHAUSER 1955).

Quantitative Bestimmung der Aldosen

=====

Auch eine in - situ - Bestimmung der Aldosen mit Anilinphthalat (PARTRIDGE 1949) nach Extraktion der Farbflecke und entsprechenden Blindwerte mit Methanol (JEREMIAS 1959) führt nur bedingt zu reproduzierbaren Ergebnissen, selbst wenn auf strengstes Einhalten aller Versuchsbedingungen geachtet wird (vgl. dazu auch KOWKABANY 1954; HAIŠ u. MACEK 1958; HELAL u. MENGEL 1968; MENGEL u. HELAL 1969). Daher diente diese Methode nur für die Untersuchungen einiger Proben der ersten Ernte des Jahres 1968; später wurde ein neuer Weg der Glukosebestimmung beschritten.

Die Farbreaktion mit Anthron (2 g Anthron mit konz. H_2SO_4 auf 1000 ml aufgefüllt) oder Phenol ist die Grundlage einer Kohlenhydratanalyse, mit der exakte Resultate zu erzielen sind (DREYWOOD 1946; MORRIS 1948; SEIFTER et al. 1950; KOCH et al. 1951; DIMLER et al. 1952; DUBOIS et al. 1956; YEMM a. WILLIS 1954; HELBERT a. BROWN 1957; MURPHY 1958; IMMERS 1965; ABRAHAMSEN a. SUDIA 1966; MISRA et al. 1970; STEVENS 1970). Es gilt jedoch zu bedenken, daß auch Zelluloseteilchen Ursache für den Farbkomplex sein und somit das Ergebnis verfälschen können.

Um alle störenden Begleitsubstanzen zu eliminieren, wird sowohl eine saubere Zuckertrennung als auch eine zuverlässige Zuckerextraktion, die ein Mitlösen von Papierteilchen verhindert, erforderlich (KOCH et al. 1951; AUGSTEIN 1967). Die zweite Bedingung kann durch einen kleinen, mit Aquarienfilterglaswatte beschickten Pipettieransatz erfüllt werden, der schon beim Pipettieren etwaige Teilchen abhält. Die beim Vermischen des Anthronreagenz mit der Probelösung entstehende Wärme genügt, um den blaugrünen Farbkomplex zu bilden, dessen Absorptionsmaximum bei 620 nm liegt. Nach optimaler Ausfärbung ist das Gemisch zu kühlen (KOCH et al. 1951; HELBERT a. BROWN 1957; STANEK et al. 1963). Der Nachteil des Verfahrens besteht darin, daß die auf dem Chromatogramm zu nahe beieinander liegenden Zucker Glukose und Galaktose gemeinsam erfaßt werden. Die für die vorliegende Arbeit untersuchten Extrakte enthielten jedoch Galaktose, wie die jeweils mit angefärbten Randstreifen bewiesen, nur in Spuren.

Viele Autoren entwickelten eine "einfache" Methode zur papierchromatographischen Bestimmung von Kohlenhydraten, die dann beim Nachvollziehen doch Probleme der verschiedensten Art aufwirft (JAYME u. KNOLLE 1956; ALDERS u. FREISKORN 1959; SCHEFFER et al. 1959; WILSON 1959; MÜLLER

1963; IMMERS 1965; GÖRING u. DREIER 1967; SOUTHGATE 1969; MISRA et al. 1970). Tatsache ist, daß eine Kohlenhydratanalyse immer Schwierigkeiten mit sich bringt. Methodische Mängel und Komplikationen sind nicht vollständig auszuschalten. Eine Reihe von Vereinfachungen ermöglichen jedoch Serienanalysen, ohne die Genauigkeit der Ergebnisse zu beeinträchtigen.

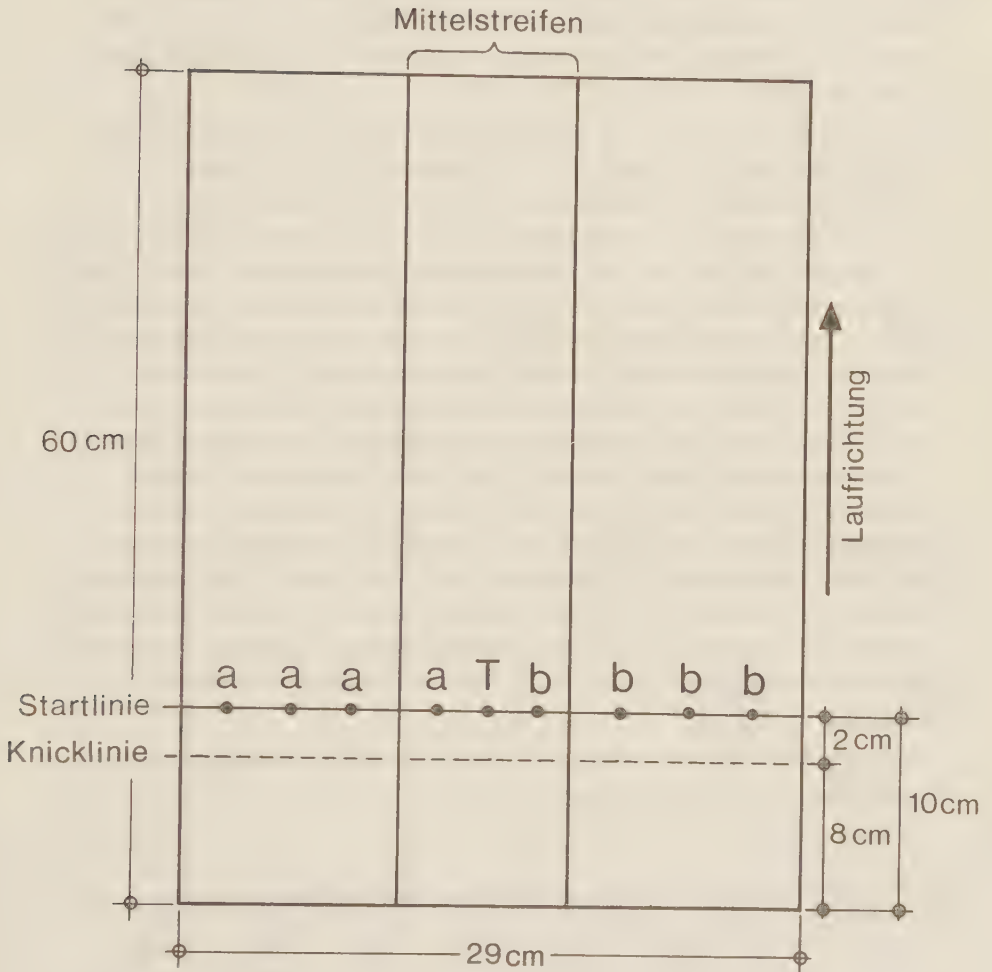
b) Zusammenfassende Darstellung der erarbeiteten Methode

Die Bestimmungen der Aldosen und Ketosen erfolgten unabhängig voneinander auf verschiedenen Papiersorten mit unterschiedlichen Laufmitteln (siehe Teil III, 2 a). Als besonders geeignet erwies sich die abgebildete Chromatogrammeinteilung (Abb.1). Entsprechend der beiden bei der Ernte entnommenen Mischproben a und b pro Düngungsvariante lagen zwei Pflanzenextrakte vor, von denen je drei Aliquote je $20\mu\text{l}$ für die Aldosen -, je $10\mu\text{l}$ für die Ketosentrennung) als Startflecke aufgetragen wurden. Ein zweites, entsprechend angefertigtes Chromatogramm lieferte vergleichbare Ergebnisse zur Kontrolle. Jedem ermittelten Endwert eines Zuckers liegen somit 2×6 Einzelwerte zugrunde, die einen möglichst geringen Analysenfehler garantieren. Dieser ergab anhand mitchromatographierter Eichlösungen einen Wert von $\pm 5\%$.

Der nach vollendeter Trennung ausgeschnittene und angefärbte Mittelstreifen mit Testgemisch (T) und den Analysenlösungen (a und b) diente der Lokalisation und Identifikation der Substanzen. Seine Lage in der Mitte des Chromatogramms ist der am Rande vorzuziehen, da durch die unvermeidbaren Schwankungen in der Laufgeschwindigkeit des Fließmittels die R_f -Werte identischer Zucker um so mehr differieren, je weiteren Abstand die Startflecke voneinander haben. Für ein blindes Ausschneiden der zuckerhaltigen Partien ist es erforderlich, diese Fehlerquelle weitgehendst auszuschalten.

Das Ansprühen der Mittelstreifen mit Orzin-Trichloressigsäure und das Trocknen bei 105°C machte als grüne Farbflecke die Ketosen sichtbar, zu denen hier auch die ketosehaltigen Oligosaccharide und die nahezu am Start verbleibenden Graspolyfruktosane zu zählen sind. Die angefärbten Streifen wurden an das zugehörige Chromatogramm gelegt, so daß alle Zuckerflecke durch Bleistiftstriche markiert, gemeinsam mit einem gleich großen Papierblindwert ausgeschnitten und eine halbe Stunde bei 60°C mit 5 ml Wasser extrahiert werden konnten. Ein Zerkleinern der Papierstücke ist unnötig. Nach dem Abkühlen wurde die Ketoselösung mit 5 ml Orzinreagenz versetzt, vorsichtig durchmischt, durch Umgießen in ein zweites Reagenzglas vom Chromatographiepapier, das die Farbreaktion beeinträchtigen könnte, getrennt, mindestens 10 bis höchstens 15 Minuten lang auf dem kochenden Wasserbad erhitzt und

Abb.1 Chromatogrammeinteilung



und danach in Wasser abgekühlt. Geringe Aldosebeimengungen, also auch winzige Zelluloseeteilchen, stören die Bestimmung nicht. Die entstandene braune, bei starker Konzentration grünliche Farblösung (Absorptionsmaximum 380 nm) wurde mit dem Filterphotometer vom Typ "Eppendorf" der Firma Netheler und Hinz, Hamburg, mit einem Filter der Wellenlänge 366 nm Hg gegen den Blindwert gemessen. Leider stand für die Serienanalysen kein Spektralphotometer zur Verfügung. Mit Hilfe der Eichgeradengleichungen waren die Zuckerwerte aus den abgelesenen Extinktionen zu berechnen. Die Ergebnisse der Polyfruktosane sind auf Fruktose bezogen.

Nach dem Besprühen der Mittelstreifen der für die Aldosenbestimmung angesetzten Chromatogramme mit Anilinphthalat und dem Trocknen bei 105°C erschienen die braunen Glukoseflecken, aus deren R_F -Werten auf die Lage der Glukose im ungefärbten Papier zu schließen war. Die entsprechenden Stellen und ein gleich großer Papierblindwert wurden ausgeschnitten und mit 5ml Wasser bei 60°C eine halbe Stunde lang extrahiert. Beim Abpipettieren eines Aliquots von 3ml war darauf zu achten, daß alle Zelluloseeteilchen im Rückstand verblieben (siehe Teil III, 2a). Die Lösung wurde mit 5ml Anthronreagenz versetzt, umgeschüttelt und erst gekühlt, nachdem sich der blaugrüne Farbkomplex gebildet hatte (HELBERT a. BROWN 1957; STANEK et al. 1963). Statt einer photometrischen Auswertung bei 620 nm, die wegen des fehlenden Spektralphotometers nicht durchführbar war, mußten die Ergebnisse wiederum mit dem "Eppendorf-Filterphotometer" ermittelt werden. Aus technischen Gründen war lediglich ein Filter der Wellenlänge 578 nm Hg verwendbar. Die bei der Messung gegen den Blindwert erhaltenen Extinktionen wurden auf Zuckerwerte umgerechnet, die sich aus aufgestellten Eichkurven ergaben.

Die Lage der einzelnen Zuckerflecke auf dem Papierchromatogramm verdeutlicht die folgende Schemazeichnung (Abb. 2).

Abb. 2 Relative Lage der untersuchten Zucker



Laufmittel: (vgl. Ketosen- und Aldosentrennung)

Auftragsvolumen 20 μ l

3.) Quantitative Stärkebestimmung

Die nach der Zuckerextraktion aus dem Trockenmaterial verbleibenden Rückstände dienten der Stärkebestimmung. Lediglich die Stärkegehalte der Ernten aus dem Jahre 1968 mußten aus den Trockenmischproben für die Mineralstoffanalysen ermittelt werden. Die meisten in der Literatur aufgeführten Methoden schieden wegen zu großer Umständlichkeit und auch schlechter Reproduzierbarkeit aus (PUCHER et al. 1948; STEINER u. GUTHRIE 1955; BAILEY 1958; NAUMANN 1959; SHALLENBERGER a. MOYER 1961; WELTE u. MÜLLER 1961; HASSID a. NEUFELD 1964; PAPE et al. 1969; HUNTER et al. 1970). Das Verfahren nach McCREADY erwies sich jedoch für die Serienanalysen als brauchbar (McCREADY et al. 1950; JEREMIAS 1965 b; TRIONE 1966; SADIK a. OZBUN 1968; EBELL 1969).

Aus dem Rückstand, der bei der Extraktion von zwei Gramm Trocken-substanz gewonnen wird, ist die Stärke mit 13 ml 52 % HClO_4 und 10 ml H_2O herauszulösen. Das Gemisch muß 20 Minuten schwach geschüttelt, mit 50 ml Wasser versetzt und abzentrifugiert werden. In der dekantierten Flüssigkeit läßt sich die Stärke noch mit Jod nachweisen. Anhand eines Testversuchs wurde gezeigt, daß Zellulose bei dieser Behandlung noch nicht angegriffen wird. In Aliquoten wurde nach entsprechender Verdünnung die Stärkebestimmung mit Anthron durchgeführt. Die Auswertung erfolgte durch einen Vergleich der Extinktionen mit der Glukose-Eichkurve und einer Berechnung der Stärke aus der abgeleiteten Stärkegleichung. (Der Einbau des Wassers ist zu berücksichtigen und geht als Faktor 0,9 in die Gleichung ein.)

Aus dem Rückstand der Grasproben nicht vollständig herausgelöste Polyfruktosane können diese Art der Stärkebestimmung stören. Eine papierchromatographische Überprüfung ergab jedoch, daß bei dem beschriebenen Verfahren keine nennenswerten Mengen an Fruktosanen im Rückstand verbleiben.

4.) Quantitative Zellulosebestimmung

Die Zellulosebestimmung der Versuchsproben aus dem Jahre 1968 erfolgte im wesentlichen nach der Methode von KÜRSCHNER u. HANAK (NEHRING 1960). Dieses zwar gute, leider jedoch langwierige Verfahren wurde später durch ein anderes ersetzt, für das der Analysengang nach BELOSKERSKI u. PROSKURJAKOW (1956) wichtige Anregungen gab.

Die bei der Stärkebestimmung anfallenden Rückstände werden mit 12 ml 82 % H_2SO_4 übergossen, umgerührt, am nächsten Tag in 100 ml Meßkolben gespült und über Nacht bei 60°C in den verschlossenen Gefäßen belassen. Nach dem Abkühlen werden die Kolben mit Wasser aufgefüllt und gut umgeschüttelt. Ein Aliquot von 2 ml muß mindestens noch einmal erneut auf 100 ml verdünnt werden, bevor 3 ml zur Messung mit 5 ml Anthronreagenz zu verwenden sind. Die Glukose stellt wiederum die Bezugsgröße dar.

5.) Mineralstoffbestimmung

Das Ausgangsmaterial für die Mineralstoffbestimmungen stellten die bei 60°C getrockneten Pflanzenproben dar.

Die Alkaliionen K^+ und Na^+ wurden in salzsaurer Lösung mit dem Atom - Absorptions - Spektralphotometer (Fabrikat: Perkin-Elmer) gemessen.

Das gleiche Gerät diente auch der Ermittlung der Erdalkaliionen Ca^{2+} und Mg^{2+} in salzsaurer Lösung, der zur Verhinderung von Störeinflüssen durch Phosphat Lanthanchloridlösung zugefügt war.

Stickstoff wurde nach dem Kjeldahl - Verfahren bestimmt, Phosphor als gelber Vanadat - Molybdat - Komplex in salpetersaurer Lösung mit dem Filterphotometer (Typ Eppendorf) gemessen.

Die Trocknung bei 105°C bis zur Konstanz ergab die absoluten Trockenmassen. Die Sandmasse - Ermittlung der Wurzeln erfolgte durch Veraschen und Differenzwägung (NEHRING 1960; STEUBING 1965).

IV. Ergebnisse

1.) Untersuchungen der Ernten aus dem Jahre 1968

a) Erträge und Mineralstoffe

Aus der produzierten Pflanzenmasse ist auf einen eindeutig positiven Einfluß des gedüngten Kaliums zu schließen. Am deutlichsten reagierten *Trifolium pratense*, in etwas geringerem Maße *Trifolium repens*; die Gräser sprachen schwächer auf die Kaliumgabe an (Tabelle 1).

Tabelle 1: Erträge in Abhängigkeit von der Kaliumversorgung
(Angaben in g Frischsubstanz je Gefäß)

Pflanzenart (Variante)		2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt
<i>Lolium perenne</i>	K ₀	58,3	112,8	72,0
	K ₁	88,6	156,3	80,6
<i>Arrhenatherum elatius</i>	K ₀	50,5	134,2	79,2
	K ₁	71,3	155,0	70,6
<i>Phleum pratense</i>	K ₀	51,0	161,4	142,6
	K ₁	59,2	163,5	163,5
<i>Trifolium pratense</i>	K ₀	66,0	183,5	228,0
	K ₁	103,8	255,0	295,0
<i>Trifolium repens</i>	K ₀	54,5	87,3	228,0
	K ₁	66,8	138,0	265,0

Mit zunehmendem Alter der Pflanzen waren die Unterschiede im Kaliumgehalt, der bei den K₁-Varianten höhere Werte aufwies als bei den Kontrollen, weniger ausgeprägt. Bemerkenswert niedrig erscheint der K-Gehalt in sämtlichen Pflanzen aller Varianten. Beim Weißklee (*T. repens*) war sogar in der K₀-Stufe der vierten Ernte der höhere

K-Gehalt vorhanden (Verdünnungseffekt). Die höchsten Stickstoff- und Phosphorgehalte ließen sich in den K_0 -Varianten junger Pflanzen nachweisen (Tabelle 2).

Auch die Erdalkalitionen Ca^{2+} und Mg^{2+} zeigten eine gewisse Kaliumabhängigkeit. Vor allem die beiden Kleearten, weniger die Gräser reichernten diese Ionen in den K_0 -Stufen an. Während die Gehalte an Mg^{2+} das ganze Jahr über kaum Schwankungen unterworfen waren, enthielten die Pflanzen des vierten Schnittes mehr Ca^{2+} als die der vorhergehenden Ernten. Wenn das einwertige Natriumion auch das Kaliumion in seiner Gesamtfunktion nicht ersetzen kann, dürften die relativ hohen Na^+ -Werte der K_0 -Varianten - besonders die des natrophileren Weidelgrases - doch auf eine bedingte Austauschbarkeit hinweisen (EVANS a. SORGER 1966; GRIFFITH a. WALTERS 1966; NITSOS a. EVANS 1969; vgl. auch OKANENKO u. BERNSTEJN 1967) (Tabelle 3).

b) Kohlenhydrate

Einen deutlichen, allerdings nicht gleichgerichteten Kaliumeinfluß auf die Monosaccharide Glukose und Fruktose und das Disaccharid Saccharose zeigt die Tabelle 4.

Auf die Glukosegehalte von *Lolium perenne*, *Trifolium repens* und *Trifolium pratense* wirkten sich die Kaliumgaben positiv, auf die von *Arrhenatherum elatius* und *Phleum pratense* jedoch negativ aus. Die Kalium-Düngung führte bei allen Pflanzen außer beim Weidelgras zu einem Abfall der Fruktosewerte. Ein Vergleich der Saccharosemengen, die bei den Gräsern durchweg höher lagen als bei den Kleearten, verdeutlicht die überwiegend negativen Kaliumeffekte in den jüngeren Pflanzen (2. und 3. Schnitt). Die erstaunlich geringen Saccharosegehalte der physiologisch älteren Stadien überraschen besonders, wenn die relativ niedrigen Wassergehalte dieser Pflanzen mit in Rechnung gestellt werden. Der Einfluß des Kaliums auf den Saccharosegehalt zeigte in diesen älteren Stadien eine z.T. nur geringfügig positive Wirkung. Sie muß als eine echte Anreicherung angesehen werden, zumal wenn man die Mehrerträge der K_1 -Varianten mit berücksichtigt (Tabelle 4).

Spurenweise konnte stets in der zweiten Ernte Raffinose, in den Klee-
proben außerdem Stachyose nachgewiesen werden. Auch das Auftreten von

Tabelle 2: Mineralstoffgehalt in Abhängigkeit von der Kaliumversorgung. 1. Kalium, Stickstoff und Phosphor
(Angaben in % der Trockensubstanz)

(Variante) Pflanzenart	K a l i u m (% K)			S t i c k s t o f f (% N)			P h o s p h o r (% P)		
	2.Schnitt	3.Schnitt	4.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	4.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	4.Schnitt
Lolium perenne	K ₀ 1,06	0,36	0,33	3,99	1,49	1,25	0,44	0,32	0,21
	K ₁ 1,97	0,71	0,90	3,12	0,89	0,94	0,38	0,25	0,22
Arrhena- therum elatius	K ₀ 1,52	0,55	0,46	3,47	1,35	0,73	0,45	0,21	0,12
	K ₁ 2,73	0,93	0,81	3,44	1,11	0,75	0,49	0,21	0,12
Phleum pratense	K ₀ 1,14	0,66	0,55	3,76	1,83	0,78	0,38	0,28	0,12
	K ₁ 2,02	0,95	0,66	3,44	1,34	0,63	0,35	0,24	0,11
Trifolium pratense	K ₀ 0,86	0,58	0,56	3,86	3,58	2,65	0,35	0,35	0,34
	K ₁ 1,39	0,77	0,87	4,01	3,21	2,33	0,37	0,35	0,27
Trifolium repens	K ₀ 0,94	0,68	1,10	4,91	3,96	3,60	0,48	0,43	0,34
	K ₁ 2,02	2,04	0,98	4,20	3,81	3,67	0,43	0,39	0,32

Tabelle 3:

Mineralstoffgehalt in Abhängigkeit von der Kaliumversorgung. 2. Natrium, Kalzium und Magnesium
(Angaben in % der Trockensubstanz)

(Variante) Pflanzenart	N a t r i u m (% Na)		K a l z i u m (% Ca)		M a g n e s i u m (% Mg)		
	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt	2. Schnitt
Lolium perenne	K ₀	1,10	0,72	0,26	0,31	0,36	0,46
	K _I	0,50	0,29	0,22	0,29	0,30	0,45
Arrhenatherum elatius	K ₀	0,040	0,043	0,053	0,27	0,30	0,48
	K _I	0,025	0,018	0,021	0,30	0,28	0,43
Phleum pratense	K ₀	0,037	0,054	0,071	0,29	0,30	0,35
	K _I	0,023	0,020	0,041	0,30	0,30	0,36
Trifolium pratense	K ₀	0,29	0,26	0,22	1,47	1,66	1,76
	K _I	0,16	0,12	0,12	1,46	1,57	1,54
Trifolium repens	K ₀	0,62	0,58	0,34	1,54	1,45	1,86
	K _I	0,37	0,29	0,25	1,43	1,38	1,37

35
-

0,18
0,13

0,20
0,19

0,19
0,21

0,32
0,25

0,30
0,23

0,42
0,25

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

0,30
0,23

Tabelle 4:

Einfluß der Kaliurnernährung auf den Gehalt an 1.) Glukose, 2.) Fruktose und 3.) Saccharose
(Angaben in mg/100 g Frischsubstanz)

(Variante) Pflanzenart	G l u k o s e			F r u k t o s e			S a c c h a r o s e		
	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt
Lolium perenne	K ₀ 251	505	295	352	368	547	537	808	17,0
	K _I 348	553	359	387	438	520	480	767	66,3
Arrhenatherum elatus	K ₀ 560	557	404	445	368	590	692	773	193
	K _I 291	401	321	252	216	450	697	688	231
Phleum pratense	K ₀ 542	490	329	380	378	395	552	545	172
	K _I 360	442	330	338	338	398	555	445	198
Trifolium pratense	K ₀ 506	306	279	305	310	255	370	295	86,0
	K _I 545	460	442	228	298	195	398	273	85,0
Trifolium repens	K ₀ 199	146	149	360	305	268	368	275	11,0
	K _I 252	173	151	194	218	245	275	198	14,0

Tabelle 5: Einfluß der Kaliumernährung auf den Gehalt an 4.) Polyfruktosanen 5.) Stärke und 6.) Zellulose

(Variante)	Polyfruktosane in mg/100g Frischsubstanz				Stärke in mg/g Trockensubstanz				Zellulose in mg/g Trockensubstanz			
Pflanzenart	2.Schnitt	3.Schnitt	4.Schnitt		2.Schnitt	3.Schnitt	4.Schnitt		2.Schnitt	3.Schnitt	4.Schnitt	
Lolium	K ₀	219	328	110	8,7	63,2	53,5		179	296	280	
perenne	K _I	296	378	97	9,9	128,0	51,3		194	224	266	
Arrhenatherum	K ₀	14,4	708	797	4,7	47,7	54,7		195	259	269	
elatus	K _I	42,5	910	653	5,8	60,8	80,2		218	262	264	
Phleum	K ₀	+ (Spur)	36,0	60,0	8,2	49,7	131,0		204	262	232	
pratense	K _I	+ (Spur)	55,0	43,0	6,4	114,0	139,0		208	253	264	
Trifolium	K ₀	-	-	-	9,4	14,0	16,3		135	221	277	
pratense	K _I	-	-	-	8,7	15,7	19,0		167	214	241	
Trifolium	K ₀	-	-	-	10,2	13,9	20,0		155	171	209	
repens	K _I	-	-	-	11,5	19,0	19,0		177	185	194	

Mannoheptulose, deren Identifizierung ein Extrakt aus den grünen *Persea gratissima* - Fruchtteilen ermöglichte (KULL 1967), erscheint bemerkenswert.

Die für die Gramineen charakteristischen Polyfruktosane zeigten sowohl eine beachtliche Abhängigkeit vom physiologischen Alterszustand der Pflanzen als auch - wenn auch weniger auffällig - von der Kaliumdüngung. Nur zum Zeitpunkt der vierten Ernte war kein begünstigender Einfluß des Kaliums auf den Fruktosangehalt mehr vorhanden. Deutlich erkennbar war die Anreicherung dieser Kohlenhydrate nach Beendigung der Hauptwachstumsphase (3. Schnitt, Tabelle 5).

Wie erwartet förderten zusätzliche Kaliumgaben die Bildung der Stärke, deren Menge sich im Verlauf der Wachstumsperiode ständig erhöhte. Die Zellulosegehalte wiesen keine einheitliche Beziehung zur Kaliumversorgung auf (Tabelle 5).

2.) Untersuchungen der Ernten aus den Jahren 1969/70

In den nachstehenden Tabellen und Ausführungen ist stets von den Schnitten 1,2 und 4 die Rede. Sie bedeuten:

Schnitt 1: Ernte der jungen Pflanzen (in der Vegetativphase)

Schnitt 2: Ernte der älteren Pflanzen (in der Generativphase)

Schnitt 4: Ernte der Pflanzen während der Ruhepause (im Winter)

a) Lolium perenne: Erträge und Mineralstoffe

Kalium und Stickstoff steigerten die Ertragsbildung. Die Hauptmasse an pflanzlicher Substanz war zur Zeit des zweiten Schnittes in der höchsten K- und N-Stufe, die geringste Produktion im Winter in den ungedüngten Varianten nachzuweisen. Unterschiedliche Mengenverhältnisse von eingelagertem Wasser zu organischen Stoffen führten zu einigen scheinbaren Widersprüchen zwischen Frisch- und Trockensubstanzerträgen (Tabelle 6).

Tabelle 6: Erträge in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoff-
ernährung (Angaben in g/Gefäß)

	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt (Winter)			
Dünge- stufen	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	
Frischsubstanz	N _{0,5}	78,8	87,2	92,0	35,8	61,2	61,0	24,9	30,4	32,3
	N _{1,0}	112,8	157,3	153,5	60,4	110,5	124,7	52,2	57,0	59,6
	N _{1,5}	126,3	187,7	159,9	87,2	172,2	210,3	63,7	87,2	88,7
	N _{2,0}	129,4	191,7	151,2	106,3	214,8	305,8	76,2	101,1	71,4
Trockensubstanz	N _{0,5}	15,7	14,9	15,4	14,1	19,7	18,9	10,6	12,3	12,9
	N _{1,0}	22,6	23,2	22,6	23,3	33,6	34,6	19,8	21,3	21,1
	N _{1,5}	21,4	26,2	22,1	39,2	52,5	56,0	22,0	30,4	30,4
	N _{2,0}	20,9	26,0	20,0	30,4	56,8	65,0	25,3	34,0	25,1

Positive Kalium- und Stickstoffeinflüsse waren auch bei der Bestimmung der Kaliumgehalte erkennbar. Bei einem Vergleich aller Ernten - und da vor allem der K₄-N_{2,0}-Düngevarianten - fallen die relativ niedrigen K-Werte der Pflanzen zur Hauptvegetationszeit auf (2.Schnitt, Tabelle 7). Sie sind auf das höhere physiologische Alter dieses Schnittes zurückzuführen. Bei erhöhter N-Zufuhr wird in der jungen, noch wachsenden Pflanze auch mehr Kalium aufgenommen (1.Schnitt Tabelle 7). In den älteren Pflanzen findet man im allgemeinen sowohl weniger Kalium als auch Stickstoff (vgl. Tabellen 7 und 8, 2. Schnitt). Als weitere Erklärung ist hierbei ein gewisser Verdünnungseffekt nicht auszuschließen.

Tabelle 7: Kaliumgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % K der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	0,96	3,98	4,20	0,41	1,51	1,75	1,50	1,95	2,54
N _{1,0}	0,67	4,28	4,90	0,29	0,93	1,91	1,16	2,36	2,64
N _{1,5}	0,81	4,30	5,31	0,45	0,57	1,84	1,26	2,62	2,75
N _{2,0}	1,10	4,41	5,66	0,31	1,41	2,33	1,82	3,96	4,99

Den Stickstoffgaben entsprach der Anstieg des Kjeldahl-N-Gehaltes, auf den sich eine zusätzliche Kaliumversorgung nur in den Jugendstadien mit noch geringer Wachstumsintensität nicht negativ auswirkte (Tabelle 8).

Tabelle 8: Stickstoffgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % N der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	1,96	1,96	2,09	0,88	0,85	0,97	1,22	1,05	1,18
N _{1,0}	2,90	2,78	2,97	1,35	0,88	1,26	1,52	1,56	1,06
N _{1,5}	3,62	3,56	3,83	1,82	1,18	1,19	2,01	1,61	1,53
N _{2,0}	4,04	4,23	4,34	3,08	2,62	1,43	3,00	2,15	1,78

Die Abhängigkeit der Phosphor-, Natrium-, Kalzium- und Magnesiumgehalte von den Nährstoffgaben läßt keine Besonderheiten erkennen. Die Gehalte lagen im Normalbereich. Ein Vergleich der K₀-Düngestufe mit den höheren K-Varianten ergibt, daß als Folge eines Ionenantagonismus Natrium, Kalzium und Magnesium in den mit Kalium unterversorgten Pflanzen angereichert wurden (Tabellen 9-12).

Tabelle 9: Phosphorgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % P der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1.Schnitt			2.Schnitt			4.Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	0,35	0,35	0,36	0,27	0,19	0,18	0,24	0,23	0,25
N _{1,0}	0,36	0,35	0,35	0,34	0,21	0,18	0,25	0,26	0,25
N _{1,5}	0,34	0,33	0,32	0,25	0,19	0,19	0,25	0,24	0,23
N _{2,0}	0,34	0,33	0,36	0,38	0,20	0,25	0,22	0,22	0,22

Tabelle 10: Natriumgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % Na der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1.Schnitt			2.Schnitt			4.Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	0,20	0,042	0,038	0,095	0,008	0,015	0,078	0,031	0,046
N _{1,0}	0,17	0,048	0,050	0,470	0,034	0,007	0,053	0,044	0,027
N _{1,5}	0,18	0,051	0,040	0,660	0,044	0,012	0,049	0,038	0,037
N _{2,0}	0,17	0,066	0,039	0,091	0,032	0,034	0,047	0,040	0,048

Tabelle 11: Kalziumgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % Ca der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1.Schnitt			2.Schnitt			4.Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	0,90	0,41	0,60	0,14	0,59	0,73	1,13	1,19	1,62
N _{1,0}	1,11	0,78	0,72	1,25	0,68	0,62	1,38	1,16	1,10
N _{1,5}	1,17	0,85	0,75	0,98	0,75	0,68	1,36	0,98	0,90
N _{2,0}	1,32	0,87	0,85	1,54	0,70	0,69	1,56	1,12	0,96

Tabelle 12: Magnesiumgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % Mg der Trockensubstanz)

Dünger- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	0,33	0,090	0,13	0,53	0,26	0,21	0,31	0,21	0,24
N _{1,0}	0,53	0,20	0,19	0,62	0,31	0,20	0,31	0,25	0,22
N _{1,5}	0,51	0,22	0,19	0,52	0,33	0,22	0,29	0,24	0,22
N _{2,0}	0,51	0,23	0,21	0,68	0,30	0,30	0,33	0,23	0,22

b) Lolium perenne: Kohlenhydrate

Die Untersuchungen der jungen Pflanzen ergaben die höchsten Glukosewerte in den niedrigsten Düngestufen, in denen das Wachstum wegen des geringen Nährstoffangebotes nicht optimal war. Allerdings lag das Maximum des Gehaltes an Glukose mit 2,03 % der Trockensubstanz in der N_{1,0}- K₀- Variante. Steigende Stickstoffgaben bei guter Kalium- bzw. steigende Kaliumgaben bei guter Stickstoffversorgung führten in den etwas älteren Gräsern der zweiten Ernte entgegen der allgemeinen Annahme nicht zu einer Abnahme, sondern sogar zu einer Anreicherung dieses Kohlenhydrates bis zu 3,44 % der Trockenmasse. Im Winter waren die K-Effekte eher negativ, der N-Einfluß uneinheitlich. Ausgesprochen niedrig erscheinen die Glukosewerte der K₂- Variante in der N_{1,5}- und N_{2,0}- Stufe des vierten Schnittes (Tabelle 13).

Tabelle 13: Glukosegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünger- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	1,54	0,57	0,64	2,01	1,57	1,03	1,40	1,10	0,94
N _{1,0}	2,03	0,57	0,43	2,01	1,12	1,92	3,01	2,63	2,59
N _{1,5}	1,08	0,25	0,47	2,31	3,64	2,12	1,72	0,51	2,21
N _{2,0}	1,13	0,39	0,26	1,17	2,34	3,44	3,04	0,45	2,60

Bemerkenswerte Tendenzen ließen die Beziehungen zwischen K- und N-Düngung und Fruktosegehalt erkennen. Dieser erreichte jeweils in der $K_0-N_{0,5}$ - Stufe einer Ernte seinen Höchstwert und das absolute Maximum mit 3,61 % der Trockensubstanz in der Ruheperiode (4. Schnitt). Insbesondere gute Kaliumversorgung hatte offensichtlich einen Rückgang der Fruktosemenge zur Folge. Auch die steigende N-Düngung erniedrigte in den meisten Fällen den Gehalt an Fruktose (Tabelle 14).

Tabelle 14: Fruktosegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K_0	K_2	K_4	K_0	K_2	K_4	K_0	K_2	K_4
$N_{0,5}$	1,49	1,16	1,23	2,92	1,30	1,16	3,61	3,34	3,00
$N_{1,0}$	1,40	0,77	0,71	1,69	1,57	1,47	2,30	2,23	3,31
$N_{1,5}$	1,03	0,71	0,49	1,77	2,37	1,31	3,52	3,60	2,63
$N_{2,0}$	0,89	0,76	0,57	0,93	1,09	0,85	2,83	2,47	2,76

Die Saccharosegehalte des ersten Schnittes zeigten keine besonders ausgeprägte Differenzierung in Abhängigkeit von der Düngung auf. Nur geringfügig fielen mit steigendem Kaliumangebot die Saccharosegehalte ab. Dieser Trend wurde vor allem in der höchsten Stickstoffstufe deutlich. Im Gegensatz dazu begünstigten Kaliumgaben die Rohrzuckersynthese im älteren Stadium (2. Schnitt), blieben jedoch ohne einheitliche Auswirkung auf die Winterproben. Die höchsten Saccharosewerte innerhalb der zweiten und vierten Ernte wurden in der $N_{1,5}$ - Stufe erzielt, das absolute Maximum erreichten die jungen Pflanzen der $K_0-N_{1,0}$ -Variante mit 9,84 % der Trockensubstanz (Tabelle 15).

Tabelle 15: Saccharosegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	8,32	7,67	8,00	2,69	3,60	3,65	5,32	6,03	5,60
N _{1,0}	9,84	7,33	7,22	2,65	4,32	4,90	5,52	4,85	6,47
N _{1,5}	9,40	7,07	6,70	3,49	5,77	4,21	7,63	6,86	7,23
N _{2,0}	8,92	6,30	5,32	0,68	3,37	4,52	7,07	6,31	5,57

Das Auftreten von Raffinose im Frühjahr und verstärkt im Winter erscheint erwähnenswert (JEREMIAS 1962 und 1964). Mit steigender N- und K- Ernährung zeigten die Gehalte an Raffinose eine abnehmende Tendenz. Lediglich in dem Untersuchungsmaterial des vierten Schnittes war Stachyose zu finden, die nur eine geringfügige, im wesentlichen negative Abhängigkeit von den Düngegaben erkennen ließ (Tabellen 16 und 17). Bevorzugt in den unteren N- und den K₀-Varianten reicherte sich die in den beiden ersten Ernten nachgewiesene Mannoheptulose an.

Tabelle 16: Raffinosegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	1,29	1,07	0,99	-	-	-	3,29	2,67	2,68
N _{1,0}	0,99	0,83	1,00	-	-	-	2,97	2,62	2,50
N _{1,5}	0,86	0,62	0,72	-	-	-	2,31	2,86	2,32
N _{2,0}	0,83	0,59	0,70	-	-	-	2,98	2,38	2,47

Tabelle 17: Stachyosegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	-	-	-	-	-	-	2,98	2,82	2,43
N _{1,0}	-	-	-	-	-	-	2,76	2,13	2,06
N _{1,5}	-	-	-	-	-	-	2,46	2,44	2,57
N _{2,0}	-	-	-	-	-	-	2,55	1,77	2,18

Die Gehalte an Polyfruktosanen wurden mit verbesserter N-Ernährung beachtlich erniedrigt. Auch Kalium zeigte beim ersten Schnitt eher eine depressive als erhöhende Wirkung auf den Gehalt an Polyfruktosanen. Durch das gehemmte Wachstum bei mangelnder Nährstoffzufuhr kam es so zu einer Ansammlung dieser Kohlenhydrate in den niederen Düngevarianten. Im Aufwuchs des zweiten Schnittes zeigte sich demgegenüber eine beachtliche Erhöhung des Gehaltes an Polyfruktosanen durch die steigenden Kaliumgaben, die teils einen Anstieg um mehr als 100 % bewirkten (Tabelle 18). Hiermit vergleichbare Effekte zeigten die Tetrasaccharid- oder - nach SCHLUBACH et al. (1955) vermutlich - Tetrafruktosangehalte. Im zweiten Schnitt traten diese Kohlenhydrate nur in Spuren auf (Tabelle 19).

Tabelle 18: Polyfruktosangehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	12,34	10,03	9,00	6,54	7,98	7,80	7,88	8,15	7,27
N _{1,0}	5,02	4,34	3,80	4,00	7,66	8,33	5,89	7,49	8,38
N _{1,5}	2,92	1,82	1,63	3,87	9,73	8,05	4,10	5,28	5,15
N _{2,0}	1,83	1,08	0,81	0,25	3,26	4,68	2,58	3,10	3,83

Tabelle 19: Tetrafruktosangehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	0,41	0,26	0,24	-	-	-	0,92	0,88	0,84
N _{1,0}	0,28	0,21	0,17	-	-	-	1,34	1,13	0,75
N _{1,5}	0,21	0,13	0,11	+(Spur)	-	-	0,73	0,67	0,66
N _{2,0}	0,17	0,09	0,04	+(Spur)	-	-	0,74	0,76	0,98

Die Gehalte an Stärke zeigen in Abhängigkeit von Düngung und Schnittzeitpunkt eine den Polyfruktosanen analoge Tendenz auf (Tabelle 20).

Tabelle 20: Stärkegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	6,03	6,07	5,43	5,33	6,74	6,52	3,00	3,86	3,43
N _{1,0}	3,76	3,42	3,04	3,47	5,73	6,17	3,14	6,67	3,93
N _{1,5}	2,68	2,14	1,64	3,19	5,70	6,07	3,23	4,37	4,37
N _{2,0}	2,07	1,43	1,17	1,03	3,29	4,18	2,95	3,00	3,71

Während Stickstoff den Gehalt an Polyfruktosanen und Stärke erniedrigte und Kalium meistens erhöhte, blieben beide Nährstoffe interessanterweise ohne nennenswerten Einfluß auf den Gehalt an Zellulose. Die höchsten Zellulosegehalte zeigten sich in dem physiologisch älteren Aufwuchs des

zweiten Schnittes. Hierbei ist bemerkenswert, daß in der K_0 -Variante die Stickstoffdüngung den Zellulosegehalt erhöhte, in der K_4 -Variante jedoch erniedrigte (Tabelle 21). Diese Ergebnisse deuten auch klar darauf hin, daß der Zellulose keinerlei Speicherfunktion zukommen kann.

Tabelle 21: Zellulosegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K_0	K_2	K_4	K_0	K_2	K_4	K_0	K_2	K_4
$N_{0,5}$	14,7	14,4	12,9	18,8	20,8	20,5	16,3	17,9	17,3
$N_{1,0}$	13,0	13,9	13,3	20,4	19,5	20,1	17,4	15,2	17,0
$N_{1,5}$	13,8	13,9	15,0	27,3	24,0	19,4	14,6	15,0	15,7
$N_{2,0}$	15,3	17,6	16,9	26,4	24,0	18,8	12,9	14,8	13,0

c) Phleum pratense: Erträge und Mineralstoffe

In der ersten Ernte war die begünstigende Wirkung des Kaliums und Stickstoffs auf die Ertragsbildung nur in den niederen Düngungsstufen erkennbar, da in den höheren K- und N-Varianten die schlecht aufgelaufenen Pflanzen infolge ihrer geringeren Individuenzahl einen weiteren Anstieg verdeckten und offenbar einen Abfall der Pflanzenmasse vortäuschten. Beim zweiten Schnitt trat die erwartete Änderung ein, wie die den Nährstoffgaben entsprechend kontinuierlich steigenden Werte sowohl der Frischsubstanz- als auch der Trockensubstanzerträge zeigen. Auch im Winter (4. Schnitt) machte sich der fördernde Einfluß der Nährionen geltend, wenn auch die Produktion der Pflanzenmasse naturgemäß zurückging (Tabelle 22).

Mengenmäßig sind die Erträge von Phleum pratense mit denen von Lolium perenne vergleichbar, wenn man von den durch das schlechte Auflaufen verursachten Unterschieden der ersten Ernte absieht.

Tabelle 22: Erträge in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in g / Gefäß)

	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt			
Dünge- stufen	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	
Frischsubstanz	N _{0,5}	81,2	97,4	87,7	53,7	65,4	58,4	23,0	27,3	28,4
	N _{1,0}	116,0	139,9	91,4	90,1	147,6	203,7	40,1	41,6	47,4
	N _{1,5}	94,9	110,9	55,4	137,6	278,0	307,0	56,1	56,3	62,4
	N _{2,0}	53,0	87,6	66,8	145,2	331,2	366,6	62,1	77,7	74,9
Trockensubstanz	N _{0,5}	15,0	15,7	14,4	17,3	18,8	16,5	8,0	8,9	9,8
	N _{1,0}	18,1	20,2	13,8	25,7	39,2	49,3	13,8	13,5	14,7
	N _{1,5}	15,4	16,2	9,3	32,8	60,6	68,3	17,4	18,0	20,1
	N _{2,0}	9,4	13,2	10,8	30,6	70,3	79,8	19,3	24,5	23,8

Mit steigender Kaliumversorgung nahm verständlicherweise der Kaliumgehalt zu, der zudem durch die zusätzliche Stickstoffdüngung geringfügig gesteigert wurde, wie aus einem Vergleich der K-Gehalte der niedersten mit den höchsten N-Varianten hervorgeht. Entsprechende Tendenzen zeigten sich auch bei *Lolium perenne*. Die absolut höchsten Werte waren wiederum in den jüngsten Pflanzen (1. Schnitt), die niedrigsten in den ältesten (2. Schnitt) nachweisbar (Tabelle 23).

Tabelle 23: Kaliumgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % K der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	1,46	3,63	3,90	0,60	1,54	1,73	1,50	1,91	2,37
N _{1,0}	1,48	4,11	4,72	0,32	1,60	2,55	1,48	3,21	2,48
N _{1,5}	1,57	4,34	4,40	0,34	1,79	2,92	1,49	2,58	2,91
N _{2,0}	1,87	3,97	4,54	0,45	1,78	2,28	1,53	2,74	2,87

Das ganze Jahr über machte sich in allen Varianten ein von den N-Gaben abhängiger positiver Effekt auf den N-Gehalt (Kjeldahl-N) bemerkbar. Wie bei *Lolium perenne* zeigte sich auch hier, daß der Kjeldahl-Stickstoffgehalt in den jungen Pflanzen der ersten Ernte durch die Kaliumdüngung nicht verändert wurde. Nach dem zweiten Schnitt ergaben die Analysen, daß sich der N-Gehalt bei geringer N-Zufuhr mit steigenden K-Gaben erhöhte, während für die besser mit Stickstoff versorgten Pflanzen eine entgegengesetzte Tendenz resultierte. Die Höchstwerte für den Stickstoffgehalt waren wiederum in den physiologisch jungen Pflanzen zu finden (Tabelle 24).

Aus den Tabellen 25 - 28 wird die Abhängigkeit des Gehaltes an Phosphor, Natrium, Kalzium und Magnesium von der K- und N- Versorgung ersichtlich.

Tabelle 24: Stickstoffgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % N der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	2,07	2,05	2,03	1,12	0,93	1,68	1,61	1,41	1,26
N _{1,0}	3,19	3,15	3,40	0,99	1,21	1,12	1,83	1,54	1,56
N _{1,5}	4,09	3,94	3,99	2,69	1,87	1,64	2,85	1,83	1,84
N _{2,0}	4,37	4,43	4,36	3,22	2,75	1,75	3,47	2,41	2,14

Tabelle 25: Phosphorgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % P der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	0,41	0,43	0,44	0,17	0,16	0,18	0,29	0,30	0,29
N _{1,0}	0,48	0,46	0,47	0,32	0,20	0,20	0,33	0,29	0,29
N _{1,5}	0,47	0,47	0,43	0,37	0,23	0,21	0,31	0,27	0,23
N _{2,0}	0,47	0,43	0,44	0,31	0,26	0,22	0,30	0,26	0,24

Tabelle 26: Natriumgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % Na der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	0,030	0,019	0,021	0,007	0,016	0,018	0,029	0,052	0,045
N _{1,0}	0,044	0,016	0,016	0,015	0,011	0,015	0,032	0,019	0,041
N _{1,5}	0,050	0,018	0,026	0,408	0,010	0,012	0,059	0,020	0,025
N _{2,0}	0,056	0,018	0,017	0,470	0,018	0,036	0,094	0,027	0,018

Tabelle 27: Kalziumgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % Ca der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	1,01	1,02	1,15	1,09	0,85	0,87	1,79	2,73	2,37
N _{1,0}	1,45	1,16	1,14	1,44	1,01	0,75	1,77	1,70	1,91
N _{1,5}	1,77	1,40	1,44	1,74	1,13	0,89	1,58	1,35	1,20
N _{2,0}	1,97	1,20	1,27	1,82	1,14	0,69	1,86	1,15	1,08

Tabelle 28: Magnesiumgehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % Mg der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	0,40	0,24	0,25	0,46	0,21	0,20	0,37	0,31	0,25
N _{1,0}	0,47	0,25	0,23	0,57	0,26	0,14	0,36	0,27	0,28
N _{1,5}	0,54	0,28	0,29	0,69	0,31	0,19	0,36	0,27	0,23
N _{2,0}	0,51	0,26	0,27	0,67	0,35	0,30	0,39	0,24	0,23

d) Phleum pratense: Kohlenhydrate

Steigende Stickstoffgaben riefen in den Varianten des ersten Schnittes eine Abnahme des Glukosegehaltes hervor. Dagegen führte eine gute Stickstoffversorgung in den K₂- und K₄-Stufen der zweiten Ernte und im Winter (4. Schnitt), als die Pflanzen ihr Wachstum einstellten, zu einer gewissen Glukoseanreicherung. In den meisten Fällen nahm der Glukosegehalt mit steigender K-Ernährung ab. Lediglich in den beiden höchsten N-Dünge-
stufen des zweiten Schnittes zeigte sich eine positive Abhängigkeit der Glukosemenge von der Kaliumernährung (Tabelle 29).

Tabelle 29: Glukosegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	2,14	1,27	1,30	1,40	1,31	1,10	1,23	1,32	0,91
N _{1,0}	1,43	0,87	0,65	1,30	0,77	0,71	1,36	1,13	1,03
N _{1,5}	1,05	0,44	0,48	1,71	1,10	2,18	2,14	2,05	1,85
N _{2,0}	0,81	0,54	0,45	1,18	1,90	1,87	2,20	1,55	1,81

Interessanterweise hatte die steigende Stickstoffdüngung im Sommer (2. Schnitt) einen deutlich depressiven Einfluß auf den Fruktosegehalt, während beim ersten Schnitt und beim vierten Schnitt im Winter kein nennenswerter Einfluß vorlag. Die absoluten Fruktosegehalte lagen nur in den jungen Pflanzen der ersten Ernte über denen des Weidelgrases. Die Kaliumzufuhr bewirkte fast stets eine Abnahme der Fruktosegehalte (Tabelle 30).

Tabelle 30: Fruktosegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	2,13	1,59	1,57	1,08	0,93	0,82	1,76	1,60	1,56
N _{1,0}	1,69	1,26	1,04	0,71	0,50	0,26	1,88	1,78	1,59
N _{1,5}	1,62	1,40	1,34	0,51	0,25	0,22	2,22	1,60	1,45
N _{2,0}	2,08	1,45	1,35	0,39	0,37	0,61	2,57	1,52	1,47

Ein Vergleich der Saccharosewerte von *Lolium perenne* mit denen von *Phleum pratense* läßt erkennen, daß das Weidelgras in der Vegetationszeit, das Lieschgras dagegen in der Ruheperiode die höheren Gehalte aufwies. Der Einfluß von Stickstoff und Kalium auf die Rohrzuckeranreicherung in beiden Gräsern ist vergleichbar. Auch bei *Phleum pratense* zeigten sich im ersten Schnitt vorwiegend negative N- und K-Effekte. In der N_{2,0}-K₄-Variante der älteren Pflanzen (2. Schnitt) wirkten sich die Nährstoffgaben günstig auf den Saccharosegehalt aus, während ihn in den Winterproben Kalium ein wenig erniedrigte, Stickstoff dagegen erhöhte (Tabelle 31).

Tabelle 31: Saccharosegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	5,48	4,69	4,46	3,00	2,60	2,97	7,49	7,90	6,97
N _{1,0}	2,95	2,26	2,43	2,13	2,75	2,49	7,83	7,87	7,80
N _{1,5}	3,21	1,93	2,64	2,64	2,32	2,64	8,43	7,52	8,03
N _{2,0}	3,92	2,23	2,59	2,05	2,62	3,70	8,53	7,77	7,65

Geringfügige Mengen von Raffinose wurden im Winter, Spuren dieses Zuckers auch im Frühjahr und Sommer gebildet (Tabelle 32). Stachyose war in keiner der Ernten nachweisbar. Mannoheptulose trat - ähnlich wie bei *Lolium perenne* - nur in den unteren N-Varianten sowie in allen K₀-Stufen, spurenweise auch noch in den K₂-Stufen der beiden ersten Schnitte auf.

Tabelle 32: Raffinosegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	+	+	(+)	++	++	+	-	-	-
N _{1,0}	+	(+)	(+)	+	+	(+)	-	-	-
N _{1,5}	-	-	-	-	-	-	1,39	-	0,83
N _{2,0}	-	-	-	-	-	-	0,90	0,97	0,99

Wesentlich niedriger als bei *Lolium perenne* lagen die Polyfruktosangehalte bei *Phleum pratense*, eine Feststellung, die bereits aufgrund der Resultate der Versuchsserie 1968 getroffen wurde. Auch beim Lieschgras wirkten sich steigende N-Gaben nachteilig auf die Polyfruktosananreicherung aus, wie die Ergebnisse der Frühjahrs- und Sommerernte zeigen. Im Winter blieb die

Stickstoffernährung ohne merklichen Einfluß. Im Untersuchungsmaterial des zweiten Schnittes - und hier am deutlichsten in der $N_{2,0}$ -Stufe - war eine fördernde Wirkung des Kaliums auf die Polyfruktosanmenge deutlich erkennbar (Tabelle 33). Im Gegensatz zum Weidelgras traten lediglich im Winter in Spuren Tetrafruktosane auf.

Tabelle 33: Polyfruktosangehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K_0	K_2	K_4	K_0	K_2	K_4	K_0	K_2	K_4
$N_{0,5}$	3,02	2,22	1,94	5,74	4,60	4,07	3,29	3,48	2,93
$N_{1,0}$	0,64	0,92	0,70	2,95	3,91	3,33	3,29	3,60	3,00
$N_{1,5}$	0,34	0,45	0,40	0,53	1,49	1,14	4,18	3,10	2,74
$N_{2,0}$	0,40	0,36	0,40	0,11	0,76	3,41	3,48	3,50	2,98

Den Polyfruktosangehalten entsprechende Werte ergaben sich bei der Ermittlung der Stärke, für die sich im wesentlichen ähnliche Beziehungen zu den Nährstoffgaben und Erntezeiten erkennen ließen. Die bessere K-Ernährung erhöhte offenbar den Gehalt an Polyfruktosanen und Stärke nur dann, wenn die Pflanzen reichlich mit Stickstoff versorgt und nicht mehr allzu jung waren, d.h. beim Übergang vom vegetativen in das generative Stadium. Da in den untersten Düngevarianten keine Verwendung der Photosyntheseprodukte wegen akuten Nährstoffmangels für das Wachstum möglich war, erfolgte dort eine Anreicherung an Polyfruktosanen und Stärke. So sind die hier gefundenen absolut höchsten Werte erklärbar (Tabelle 34).

Tabelle 34: Stärkegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	6,31	3,28	3,23	8,08	8,11	6,81	4,13	4,87	4,23
N _{1,0}	1,39	1,17	1,01	3,81	5,95	4,90	4,16	4,55	4,29
N _{1,5}	0,96	0,80	0,91	0,92	1,22	2,00	3,56	3,89	3,92
N _{2,0}	0,95	0,68	0,79	0,53	0,99	1,83	3,51	3,41	4,07

Auch bei *Phleum pratense* ergab sich wie bei *Lolium perenne* keine nennenswerte Abhängigkeit der Zellulosegehalte von der Kalium- und Stickstoffdüngung. Lediglich in den Pflanzen der Winterernte zeigte sich, daß mit steigender N-Ernährung auch die Zellulosegehalte anstiegen. Die höchsten Werte wiesen die physiologisch älteren Pflanzen (2. Schnitt), die durchschnittlich niedrigsten die Gräser der Winterernte auf (Tabelle 35).

Tabelle 35: Zellulosegehalt in Abhängigkeit von der Kalium- und Stickstoffernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	1. Schnitt			2. Schnitt			4. Schnitt		
	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄	K ₀	K ₂	K ₄
N _{0,5}	17,4	16,9	18,8	19,8	18,5	17,5	11,0	11,4	10,2
N _{1,0}	19,3	18,4	16,9	18,1	18,9	22,0	12,6	11,7	13,4
N _{1,5}	16,5	17,5	17,6	22,6	20,1	24,4	16,4	19,5	18,3
N _{2,0}	16,1	18,1	17,0	20,3	20,4	21,7	15,3	15,2	18,3

e) Trifolium pratense: Erträge und Mineralstoffe

Die Erträge zeigten nicht in allen Ernten die erwartete- und bei den Leguminosen in der Versuchsserie des Jahres 1968 auch nachgewiesene - Abhängigkeit von der Kaliumernährung. Auffällig sind die negativen K-Effekte im ersten Schnitt von K_1 bis K_4 . Auch in der Sommerernte lag das Maximum der Pflanzenmasse nicht in der K_4 -Variante, für die jedoch deutlich höhere Werte ermittelt wurden als für die K_0 -Stufe. Im Winter erfolgte naturgemäß ein starker Rückgang der Produktion. Zu dieser Zeit war wie ebenfalls nach dem Wiederaustrieb im Frühjahr 1970 ein positiver Kaliumeinfluß nachweisbar, der sich in einem fast kontinuierlichen Anstieg der Erträge von der untersten bis zur obersten Düngestufe auswirkte (Tabelle 36).

Tabelle 36: Erträge in Abhängigkeit von der Kaliumernährung
(Angaben in g/Gefäß)

Dünge- stufen	1. Schnitt	2. Schnitt	4. Schnitt	Wiederaustrieb 5. Schnitt	
Frischsubstanz	K ₀	146,4	155,1	43,0	74,3
	K ₁	179,0	244,2	59,6	72,7
	K ₂	166,2	300,6	77,4	134,4
	K ₃	129,5	238,5	74,3	150,7
	K ₄	106,0	234,9	98,7	184,3
Trockensubstanz	K ₀	19,4	28,6	14,0	11,9
	K ₁	19,8	40,4	20,6	11,9
	K ₂	17,4	47,7	24,1	19,5
	K ₃	14,0	34,0	23,6	18,4
	K ₄	11,9	36,4	28,6	23,4

Die höchsten Kaliummengen enthielten die jungen Pflanzen; in allen Ernten erhöhten steigende K-Gaben den K-Gehalt. Ohne nennenswerte Auswirkung blieb die K-Düngung auf die Gehalte an Kjeldahl-Stickstoff und Phosphor. Im Untersuchungsmaterial des ersten Schnittes reicherten sich diese Mineralstoffe stärker an als in dem der Sommerernte. Dieser Unterschied ist sowohl durch einen gewissen Konzentrationseffekt als auch vor allem durch das physiologische Alter der Pflanzen zu erklären (Tabelle 37).

Die Beziehungen zwischen Kaliumdüngung und den Mineralstoffgehalten Natrium, Kalzium und Magnesium sind aus der Tabelle 38 ersichtlich.

In der Wurzel übten steigende Kaliumgaben ebenfalls einen positiven Einfluß auf den Kaliumgehalt aus, während sich für die N- und P-Gehalte keine einheitliche Tendenz ergab. Die Natrium-, Kalzium- und Magnesiumwerte lassen negative K-Effekte erkennen (Tabelle 39).

Tabelle 37:

Der Gehalt an Kalium, Stickstoff und Phosphor in Abhängigkeit von der Kaliumernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	K a l i u m (% K)				S t i c k s t o f f (% N)				P h o s p h o r (% P)			
	1.		2.		4.		1.		2.		4.	
	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt
K ₀	1,15	0,50	0,44	3,51	2,94	3,41	0,57	0,54	0,50			
K ₁	1,92	0,95	1,13	3,67	2,73	3,49	0,77	0,27	0,28			
K ₂	4,15	1,98	1,55	3,47	2,89	3,49	0,38	0,24	0,26			
K ₃	4,53	3,19	2,95	3,50	2,72	3,23	0,39	0,25	0,28			
K ₄	4,76	3,21	3,52	3,76	2,55	3,36	0,39	0,23	0,25			

Tabelle 58:

Der Gehalt an Natrium, Kalzium und Magnesium in Abhängigkeit
von der Kaliurnernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	N a t r i u m (% N a)			K a l z i u m (% C a)			M a g n e s i u m (% M g)		
	1.	2.	4.	1.	2.	4.	1.	2.	4.
	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt
K ₀	0,033	0,032	0,053	3,32	4,94	2,56	0,80	1,01	0,57
K ₁	0,020	0,011	0,025	2,71	3,44	2,55	0,54	0,67	0,50
K ₂	0,021	0,009	0,021	2,53	2,70	2,28	0,48	0,50	0,43
K ₃	0,023	0,011	0,021	2,45	2,42	2,09	0,46	0,41	0,39
K ₄	0,022	0,006	0,023	2,43	2,32	1,84	0,47	0,37	0,36

Tabelle 39:

Der Gehalt an Mineralstoffen in der Wurzel in Abhängigkeit von
der Kaliumernährung während der Ruheperiode (Winter)
(Angaben in % der sandfreien Trockensubstanz)

Düngestufen	Kalium (% K)	Stickstoff (% N)	Phosphor (% P)	Natrium (% Na)	Kalzium (% Ca)	Magnesium (% Mg)
K ₀	0,46	2,12	0,30	0,35	1,12	0,67
K ₁	0,65	3,33	0,28	0,35	0,76	0,64
K ₂	1,09	2,66	0,26	0,31	0,65	0,74
K ₃	2,70	1,93	0,32	0,16	0,81	0,33
K ₄	2,73	2,35	0,29	0,11	0,70	0,32

f) Trifolium pratense: Kohlenhydrate

Im Laufe des Jahres nahm der Glukosegehalt bis zum Winter (4. Schnitt) zu. Der negative Kaliumeinfluß in allen Schnitten läßt sich nicht allein durch einen Verdünnungseffekt erklären, da die Erträge der Frühjahrs- und Sommerernte kontinuierlich anstiegen, die niedrigsten Glukosewerte dagegen in der K_3 -Stufe zu finden waren.

Weniger gleichgerichtete Tendenzen ergaben die Ergebnisse der Fruktosebestimmung. Zwar erniedrigte die K-Düngung den Fruktosegehalt der jungen Pflanzen ebenfalls, in der zweiten und vierten Ernte waren jedoch auch positive K-Effekte nachweisbar.

Auch die Saccharosewerte zeigten keine einheitliche Abhängigkeit von der jeweiligen K-Ernährung. Während beim ersten Schnitt lediglich in der K_0 -Stufe ein höherer Gehalt an Saccharose vorlag, wiesen die anderen K-Varianten nur geringe Differenzierungen in Abhängigkeit von den Kaliumgaben auf. Dagegen erhöhten diese die Rohrzuckergehalte gerade in den unteren Kaliumdüngestufen der zweiten Ernte. Die größten Saccharosemengen waren im Winter vorhanden. Bei einem Vergleich dieser Resultate mit denen der Erträge ist man geneigt, dem Kalium einen fördernden Einfluß zuzusprechen, da ein Konzentrationseffekt hier mit in Betracht gezogen werden muß (Tabelle 40).

Über das Vorkommen von Maltose in *Trifolium pratense* wurde berichtet (BAILEY 1963; JEREMIAS und KULL 1966; CREECH 1968). Sie ließ sich aber in keiner der Untersuchungen nachweisen.

Tabelle 40: Der Gehalt an Glukose, Fruktose und Saccharose in Abhängigkeit von der Kaliurnernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	G l u k o s e				F r u k t o s e				S a c c h a r o s e			
	1.		2.		4.		1.		2.		4.	
	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt
K ₀	1,81	1,56		2,47	1,00	1,52	1,47	2,46	1,70		5,28	
K ₁	0,66	1,73		2,10	0,60	0,95	0,94	1,83	2,16		3,25	
K ₂	0,39	1,09		2,06	0,56	1,46	1,17	1,42	2,56		3,43	
K ₃	0,26	0,41		1,29	0,41	1,20	0,71	1,44	1,69		2,46	
K ₄	0,56	0,57		1,45	0,45	1,23	0,81	1,66	1,94		2,83	

Raffinose war im Frühjahr und im Winter, nicht jedoch im Sommer nachweisbar; sie zeigte eine negative Abhängigkeit von den Kaliumgaben (Tabelle 41). Stachyose konnte nicht gefunden werden. Auch Mannoheptulose, die im Gegensatz zu den Gräsern beim Rotklee auch im Winter auftrat, reicherte sich vor allem in den K_0 -Varianten an.

Die Kaliumernährung erhöhte geringfügig die Stärkegehalte der jungen Pflanzen (1.Schnitt), erniedrigte sie zur Zeit der Ruheperiode (4.Schnitt) und hatte keinen einheitlichen Einfluß auf die Stärkegehalte der blühenden Pflanzen (2.Schnitt). Auch zu nennenswerten Veränderungen im Zellulosegehalt der ersten und zweiten Ernte führte die Kaliumdüngung nicht; sie bewirkte aber eine Zunahme im Winter (Tabelle 42).

Die nachgewiesenen Kohlenhydratmengen, sowohl der löslichen Zucker als auch der Polysaccharide, lagen beim Rotklee weit unter denen der untersuchten Gräser.

Eine Übersicht über das Kohlenhydratspektrum der Wurzel zeigt den im wesentlichen positiven Einfluß der Kaliumdüngung auf die Fruktose-, Saccharose- und Stärkegehalte. Eher ungünstig wirkte sich die Kaliumernährung auf die Gehalte an Glukose und Raffinose aus, während die Zellulose gegenüber Kalium ein indifferentes Verhalten aufwies (Tabelle 43). Weder Mannoheptulose noch Stachyose waren in der Wurzel aufzufinden.

Die Glukose- und Fruktosemengen sind mit denen des Sprosses in ihrer Größenordnung vergleichbar. Dagegen wurden in den unterirdischen Teilen der Pflanzen weit höhere Saccharose-, Stärke- und Zellulosewerte ermittelt als in den oberirdischen.

Tabelle 41: Der Gehalt an Raffinose in Abhängigkeit von der Kaliumernährung (Angabe in % der Trockensubstanz)

Düngestufen	1. Schnitt	2. Schnitt	4. Schnitt
K_0	1,00	-	0,32
K_1	0,80	-	0,34
K_2	0,79	-	0,29
K_3	0,75	-	0,28
K_4	0,79	-	0,20

Tabelle 42: Der Gehalt an Stärke und Zellulose in Abhängigkeit von der Kaliumernährung (Angaben in % der Trockensubstanz).

Dünge- stufen	S t ä r k e			Z e l l u l o s e		
	1. Schnitt	2. Schnitt	4. Schnitt	1. Schnitt	2. Schnitt	4. Schnitt
K ₀	1,43	0,92	1,86	12,6	11,5	12,8
K ₁	1,34	1,00	1,84	10,3	15,5	13,7
K ₂	1,51	1,07	1,86	12,8	13,6	15,4
K ₃	1,50	0,96	1,74	11,2	14,0	14,7
K ₄	1,55	1,01	1,73	11,0	13,8	16,9

Tabelle 43: Der Gehalt an Kohlenhydraten in der Wurzel in Abhängigkeit von der Kaliumernährung während der Ruheperiode (Winter) (Angaben in % der sandfreien Trockensubstanz).

Dünge- stufen	Glukose	Fruktose	Saccharose	Raffi- nose	Stärke	Zellu- lose
K ₀	1,42	0,59	6,40	0,73	3,12	23,4
K ₁	0,82	0,90	8,34	0,37	3,80	20,6
K ₂	1,52	1,13	9,38	0,35	5,31	25,6
K ₃	0,80	0,76	7,90	0,56	4,97	24,1
K ₄	0,60	0,86	7,66	0,58	5,66	23,3

g) Medicago sativa: Erträge und Mineralstoffe

Zur Zeit des ersten Schnittes erbrachten steigende Kaliumgaben keinen Mehrertrag; vielmehr war ein deutlicher Abfall der Werte von der K_1 - zur K_4 - Variante festzustellen. Wesentlich größer war die Produktion der Pflanzenmasse bis zur zweiten Ernte, in der die K-Düngung deutlich zur Wirkung kam. Ein Vergleich der Frisch- und Trockensubstanzergebnisse führt zu einem interessanten Resultat: Obgleich das Frischsubstanzertragsmaximum in der K_2 -Stufe zu finden war, lagen die höheren Trockensubstanzmengen in der K_3 - Variante vor. Die höhere Düngungsstufe war demnach "gehaltvoller", was ein Blick auf die Kohlenhydrattabellen (Tabellen 48 und 50) bestätigen kann. Im Winter und nach dem Wiederaustrieb war wiederum naturgemäß ein Rückgang der Pflanzenmasse zu verzeichnen, ein deutlicher Anstieg mit zunehmender Kaliumernährung jedoch nicht zu übersehen (Tabelle 44).

Tabelle 44: Erträge in Abhängigkeit von der Kaliumernährung
(Angaben in g/Gefäß)

Düngestufen		1.Schnitt	2.Schnitt	4.Schnitt	Wiederaustrieb 5.Schnitt
Frischsubstanz	K_0	43,0	120,3	29,3	50,0
	K_1	79,6	202,5	39,3	80,7
	K_2	67,6	246,8	46,8	115,0
	K_3	54,7	239,6	52,4	120,8
	K_4	59,0	223,4	60,4	155,4
Trockensubstanz	K_0	9,7	28,2	9,2	9,1
	K_1	15,5	46,6	13,1	13,7
	K_2	13,3	55,9	15,1	18,9
	K_3	11,2	61,5	16,9	17,9
	K_4	11,2	52,8	20,0	22,2

Auch bei *Medicago sativa* waren die höchsten Kaliumgehalte in den jungen Pflanzen und ein Anstieg von der K_0 - zur K_4 -Variante nachweisbar. Kaliumgaben erhöhten im Frühjahr auch den Kjeldahl-Stickstoffgehalt, blieben im Sommer ohne nennenswerten Einfluß und erniedrigten ihn im Winter. Eine Abhängigkeit zwischen Kaliumernährung und Phosphorgehalt war nicht zu erkennen (Tabelle 45).

Die Tabelle 46 zeigt die Ergebnisse für die Mineralstoffe Natrium, Kalzium und Magnesium zur Zeit der drei Ernten in allen Dünge-
stufen.

Für die Mineralstoffmengen der Luzernewurzeln gelten die gleichen Aussagen wie für die des Rotklees. Die Kaliumgehalte nahmen der steigenden Kaliumdüngung entsprechend zu, die Na-, Ca- und Mg-Gehalte dagegen ab. Eine beachtenswerte Abhängigkeit des Stickstoffs und Phosphors von den K-Gaben konnte nicht festgestellt werden (Tabelle 47).

Tabelle 45:

Der Gehalt an Kalium, Stickstoff und Phosphor in Abhängigkeit von der Kaliumernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	K a l i u m (% K)			S t i c k s t o f f (% N)			P h o s p h o r (% P)		
	1.	2.	4.	1.	2.	4.	1.	2.	4.
	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt
K ₀	1,19	0,57	1,15	1,76	2,62	3,39	0,25	0,31	0,28
K ₁	2,56	0,99	1,22	1,99	2,47	3,11	0,28	0,27	0,24
K ₂	3,04	1,96	2,37	2,03	2,48	2,76	0,27	0,26	0,21
K ₃	3,11	2,52	3,41	1,58	2,32	2,79	0,25	0,24	0,18
K ₄	3,20	2,62	3,92	4,98	2,66	2,78	0,26	0,26	0,19

Tabelle 46: Der Gehalt an Natrium, Kalzium und Magnesium in Abhängigkeit von der Kaliumernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	N a t r i u m (% Na)			K a l z i u m (% Ca)			M a g n e s i u m (% Mg)		
	1.	2.	4.	1.	2.	4.	1.	2.	4.
	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt
K ₀	0,085	0,026	0,055	2,01	3,45	2,39	0,38	0,58	0,55
K ₁	0,031	0,019	0,032	1,84	2,67	2,65	0,31	0,37	0,52
K ₂	0,033	0,017	0,028	1,78	2,01	2,02	0,31	0,29	0,38
K ₃	0,031	0,011	0,033	1,71	1,64	2,26	0,28	0,23	0,32
K ₄	0,030	0,018	0,035	1,49	1,70	1,96	0,22	0,25	0,28

Tabelle 47: Der Gehalt an Mineralstoffen in der Wurzel in Abhängigkeit von der Kaliumernährung während der Ruheperiode (Winter)
(Angaben in % der sandfreien Trockensubstanz)

Düngestufen	Kalium (% K)	Stickstoff (% N)	Phosphor (% P)	Natrium (% Na)	Kalzium (% Ca)	Magnesium (% Mg)
K ₀	0,36	2,09	0,29	0,140	0,69	0,31
K ₁	0,40	2,40	0,26	0,079	0,49	0,28
K ₂	0,48	2,44	0,25	0,054	0,45	0,25
K ₃	1,01	2,25	0,29	0,033	0,32	0,19
K ₄	1,12	2,23	0,28	0,024	0,39	0,17

h) Medicago sativa: Kohlenhydrate

Die Ergebnisse der Glukosebestimmung lassen auf einen im wesentlichen negativen Kaliumeinfluß schließen, der nur in den höchsten K-Stufen der zweiten und dritten Ernte positive Tendenzen zeigte. Im Gegensatz zu *Trifolium pratense* waren die geringsten Glukosemengen im Winter nachweisbar.

Gute Kaliumversorgung führte in der Regel auch zu einer Verringerung der Fruktosegehalte, die auffälligerweise jedoch mit 1,3 % der Trockensubstanz gerade in der K_4 -Variante des zweiten Schnittes ihr Maximum erreichten.

Bei der Auswertung der Saccharosetabelle fallen die hohen Gehalte auf, die zwar in den physiologisch älteren Pflanzen der Sommerernte erwartungsgemäss abfielen, in allen Düngestufen aber über denen der Monosaccharide lagen und auch die Rohrzuckermengen des Rotklee übertrafen. Auf diese wirkte sich die Kaliumdüngung in allen drei Schnitten nicht merklich aus. In der zweiten Ernte zeigte sich eine durch steigende Kaliumgaben hervorgerufene geringfügige Abnahme der Saccharosegehalte (Tabelle 48).

Wie bei *Trifolium pratense* trat auch bei *Medicago sativa* im Frühjahr und Winter Raffinose auf, deren Gehalte die Kaliumzugaben ungünstig beeinflussten. Stachyose konnte zur Zeit der Ruheperiode (Tabelle 49), Mannoheptulose bevorzugt in den niederen K-Düngestufen aller Ernten gefunden werden.

Die Kaliumernährung blieb ohne erkennbare Auswirkung auf die Stärkegehalte, die in den jungen Pflanzen erstaunlich hoch waren, erhöhte jedoch die Zellulosegehalte des ersten und vierten Schnittes (Tabelle 50).

Die Kohlenhydratanalysen der Luzernewurzeln ergaben nur minimale Glukosemengen, die durch Kaliumzufuhr nicht gesteigert wurden. Bei den etwas höheren Fruktosewerten zeichnete sich dagegen eine geringfügige Zunahme nach guter Kaliumversorgung ab. Auffallend hoch waren die Saccharosegehalte; höhere wurden in keiner der Untersuchungen nachgewiesen. Die Ergebnisse lassen eine Begünstigung der Saccharoseanreicherung in der Wurzel durch Kaliumdüngung er-

kennen. Die Polysaccharidmengen lagen über denen des Sprosses. Während die zusätzliche Kaliumernährung die Stärkeanreicherung positiv beeinflusste, zeigten sich für die Gehalte an Zellulose schwach negative K-Effekte. Im Gegensatz zu *Trifolium pratense* enthielten die Wurzeln neben Raffinose auch Stachyose (Tabelle 51). Mannoheptulose war auch in den Luzernewurzeln nicht nachweisbar.

Tabelle 48:

Der Gehalt an Glukose, Fruktose und Saccharose in Abhängigkeit von der Kaliumernährung
(Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	G l u k o s e				F r u k t o s e				S a c c h a r o s e			
	1.	2.	4.	Schnitt	1.	2.	4.	Schnitt	1.	2.	4.	Schnitt
K ₀	1,52	1,17	0,79		1,23	1,14	1,30		6,86	2,75	6,30	
K ₁	0,62	0,88	0,21		0,83	0,98	1,14		5,48	2,61	5,98	
K ₂	0,66	0,82	0,14		0,71	0,96	1,14		5,03	2,16	6,13	
K ₃	0,82	1,71	0,34		0,69	1,09	1,01		4,91	2,16	5,98	
K ₄	0,52	1,30	0,45		0,70	1,31	0,95		5,18	2,14	5,88	

Tabelle 49: Der Gehalt an Raffinose und Stachyose in Abhängigkeit von der Kaliumernährung
(Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	R a f f i n o s e		S t a c h y o s e			
	1.	2.	4.	1.	2.	4.
	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt	Schnitt
K ₀	1,18	-	2,01	-	-	0,67
K ₁	1,23	-	1,68	-	-	0,54
K ₂	1,10	-	1,54	-	-	0,55
K ₃	1,08	-	1,33	-	-	0,74
K ₄	1,09	-	1,32	-	-	0,51

Tabelle 50: Der Gehalt an Stärke und Zellulose in Abhängigkeit von der Kaliumernährung (Angaben in % der Trockensubstanz)

Dünge- stufen	S t ä r k e			Z e l l u l o s e		
	1. Schnitt	2. Schnitt	4. Schnitt	1. Schnitt	2. Schnitt	4. Schnitt
K ₀	6,54	1,38	2,26	14,7	20,9	10,4
K ₁	4,10	1,21	2,53	17,4	22,4	10,9
K ₂	5,62	1,26	2,52	16,3	18,9	10,9
K ₃	8,12	1,20	2,37	23,4	22,1	12,6
K ₄	6,24	1,25	2,52	23,4	18,3	16,0

Tabelle 51: Der Gehalt an Kohlenhydraten in der Wurzel in Abhängigkeit von der Kaliumernährung während der Ruheperiode (Winter) (Angaben in % der sandfreien Trockensubstanz)

Dünge- stufen	Glukose	Fruk- tose	Saccha- rose	Raffi- nose	Stachyose	Stärke	Zellu- lose
K ₀	0,20	0,56	12,22	1,26	0,75	5,84	27,8
K ₁	0,16	0,53	13,70	1,14	0,61	7,70	25,2
K ₂	0,16	0,55	14,28	1,29	0,67	11,24	25,0
K ₃	0,09	0,53	13,44	1,25	0,59	10,19	25,5
K ₄	0,12	0,73	13,70	1,06	0,59	11,77	24,4

V. Diskussion

Alle Analysen der pflanzlichen Inhaltsstoffe stellen zunächst nur eine Momentaufnahme des physiologischen Zustandes dar. Dennoch ist eine Verallgemeinerung der Beobachtungen immer dann berechtigt, wenn die entscheidende Bedeutung der ökologischen Faktoren Berücksichtigung findet. So lassen sich die bei den Kohlenhydratbestimmungen ermittelten Ergebnisse exakt nur interpretieren, wenn sie im Zusammenhang mit den art eigenen Gegebenheiten der Pflanze, dem gesamten Stoffwechselgeschehen und allen Beeinflussungen von außen, wie Zeitpunkt und Häufigkeit der Schnitte, physiologischem Alter, Temperatur, Feuchte, Bodenbeschaffenheit und besonders dem Nährstoffangebot sowie dessen Pflanzenverfügbarkeit gesehen werden. Wenn Angaben über die Nährionenabhängigkeit zuverlässig sein sollen, ist zudem das Verhältnis der Düngegaben zu den anderen Hauptnährsalzen zu beachten, damit "Nährstoffmangel" nicht ein relativer Begriff bleibt.

In den meisten Untersuchungen über die Änderung der Kohlenhydratformen als Folge variiertter Nährsalzgaben sind übereinstimmende, wenn auch sehr verallgemeinernde Aussagen zu finden. Alle bisherigen Bestimmungen sind mehr oder weniger summarisch und lassen eine genauere Aufgliederung in einzelne Kohlenhydratfraktionen und -anteile sehr oft vermissen. Überdies bleibt fast stets die Bedeutung des physiologischen Alters unberücksichtigt. In der Regel wird von einer Anreicherung der löslichen Kohlenhydrate bei schlechter Kaliumernährung und von einer Begünstigung der höhermolekularen Saccharide bei ausreichender Kaliumzufuhr berichtet (AMBERGER 1954,1955; OZBUN et al. 1965; PANDEJ 1969; HOLT a. HILST 1969). Aber auch andere Resultate, nach denen Kaliumgaben die Gehalte aller Kohlenhydrate steigern, liegen vor (FREEMAN a. MOSSADEGHI 1967 u. 1970). Ein Versuchsansatz in differenzierter Form kann - wie es die vorliegende Arbeit zeigt - zu überraschenden Ergebnissen führen, die mit den Literaturwerten zunächst im Widerspruch zu stehen scheinen.

Neben dem Einfluß gesteigerter Stickstoff- und Kaliumdüngegaben wurde bei der Durchführung der Experimente drei physiologischen Altersstufen besondere Beachtung geschenkt. Es zeigte sich deutlich, daß der Kohlenhydratspiegel der jungen Gramineen und Leguminosen eine andere quantitative Zusammensetzung aufwies als der der Pflanzen im Übergang von der

vegetativen zur generativen Phase oder gar in der Winterruhe.

Kohlenhydrate dienen nicht nur als Energiespender, sondern auch als Lieferanten der C-Skelette. So ist verständlich, daß das Kohlenhydrat-spektrum auch vom Verbrauch der Saccharide für die Bildung von Aminosäuren und Proteinen abhängt (MEYER a. SPLITSTOESSER 1969; KIRKBY 1970). Da die vegetative Phase die Hauptwachstumsperiode darstellt, kann es zu diesem Zeitpunkt nicht zu einer Erhöhung der Kohlenhydratgehalte kommen. Denn diese werden, falls Stickstoff in ausreichender Menge vorhanden ist, für die gesteigerte Proteinsynthese ständig verbraucht. Daher führt das intensive Wachstum zu einer schnellen Abnahme der Zuckerreserven. Die Kaliumernährung ist in jungen Pflanzen für die Ansammlung der Kohlenhydratmengen nur von untergeordneter Bedeutung, da durch deren schnellen Verbrauch der positive Einfluß dieses Nährions auf die photosynthetische Leistung überdeckt wird. So konnten sich trotz guter Kaliumversorgung vor allem in den $N_{1,5}$ - und $N_{2,0}$ - Stufen Oligo- und Polysaccharide in den Gräsern der ersten Ernte nicht anreichern (vgl. die Tabellen 15, 18 und 20 sowie 31, 33 und 34). Aus dem gleichen Grunde akkumulierten auch die Monosaccharide nicht, wie der mit steigenden Kaliumgaben besonders auffällige Abfall der Glukose- und Fruktosegehalte in der $N_{2,0}$ -Variante beweist (vgl. die Tabellen 13 und 14 sowie 29 und 30). Starker Nährstoffmangel muß dagegen zu einem reduzierten Wachstum führen; die Werte der Reservekohlenhydrate können sehr ansteigen. Diese Beziehung zeigt sich auch in den hier beschriebenen Versuchen. So hatte die höhere Stickstoffdüngung ($N_{1,0}$ -Stufe) gegenüber der geringeren Gabe ($N_{0,5}$ -Stufe) den Weidelgrasertrag des ersten Schnittes um etwa 50 % erhöht (Tabelle 6), die Gehalte an Polyfruktosanen und Stärke aber auf die Hälfte reduziert (Tabelle 18). Dementsprechend waren die Gehalte an Kjeldahl-Stickstoff durch die erhöhte Stickstoff-Düngung ($N_{1,0}$ gegenüber der $N_{0,5}$ -Variante) beachtlich gesteigert worden (Tabelle 8).

Die ungeheure Bedeutung der Stickstoffernährung für den Kohlenhydrathaushalt in der vegetativen Phase wird aus den Ergebnissen einiger Arbeiten deutlich. BROWN und BLASER (1965) beobachteten bei *Dactylis glomerata* und *Festuca arundinacea* ein durch gute N-Versorgung hervorgerufenes schnelles Wachstum, das mit einem Absinken des Kohlenhydratspiegels kombiniert war. Umgekehrt führten ebenso wie ungünstige

ökologische Bedingungen, z.B. niedrige Temperaturen oder wenig Feuchte, auch geringe N-Gaben zu einem gedrosselten Wachstum, das eine Ansammlung der Reservekohlenhydrate zur Folge hatte. Nach weiteren Untersuchungen über die Abhängigkeit des Kohlenhydrathaushaltes von den Klimafaktoren sagten die Autoren verallgemeinernd aus, daß Wachstumsrate und Kohlenhydratgehalte in umgekehrter Relation stehen (BROWN a. BLASER 1970; vergl. dazu auch JEREMIAS 1966). Die Höchstwerte im Gehalt an Saccharose, Polyfruktosanen und Stärke in den untersten Düngestufen, die sowohl bei *Lolium* als auch bei *Phleum* zu finden waren, sind somit erklärbar. Bei *Syringa vulgaris* waren nach guter Stickstoffversorgung nur geringe Gesamtkohlenhydratmengen nachweisbar, da die während der Wachstumsphase photosynthetisch produzierten Saccharide sofort wieder für zusätzliches Wachstum verbraucht wurden. Dagegen kam es in den Pflanzen mit unzureichendem N-Ernährungszustand zu einer Anhäufung in Stengeln und Wurzeln (MEYER a. SPLITTSTOESSER 1969; vgl. dazu auch MacLEOD 1965 a).

Einen krassen Abfall der Kohlenhydratreserven, namentlich der Polyfruktosane, der proportional zur verabreichten Stickstoffmenge verlief, zeigten Untersuchungen an Gräsern. Hohe Stickstoffgaben bei günstiger, d.h. warmer und trockener Witterung können die Reserven so weit aufbrauchen, daß es zu einer Schädigung der Pflanzen kommt (COLBY et al. 1965 und 1966; vgl. dazu auch WOODHAMS a. KOZLOWSKI 1954; WEBSTER a. ELDER 1962; POWELL et al. 1967; ZANONI et al. 1969; KIRKBY 1970). Auch bei *Cynodon dactylon* führten steigende N-Gaben zu einer Abnahme im Gehalt an Kohlenhydraten; dennoch stieg deren Produktion (Ertrag je Flächeneinheit) an. Bei schlechter N-Ernährung war eine Verminderung der Proteinsynthese und daher eine Anreicherung der Saccharide zu beobachten (HOJJATI et al. 1968). Eine zusätzliche Stickstoffdüngung verringerte in verschiedenen Wiesengräsern außer dem Zuckergehalt auch dessen Tagesdifferenzen. Überdies traten bei den einzelnen Arten deutliche Unterschiede im Gesamtkohlenhydratgehalt auf. Eine Abnahme der Gehalte erfolgte in der Reihenfolge: Deutsches Weidelgras, Welsches Weidelgras, Wiesenschwingel, Lieschgras, Knaulgras. Noch geringere Kohlenhydratmengen enthielten die Leguminosen (WITT 1967).

Nicht nur über den Gesamtkohlenhydrathaushalt, sondern auch über die Abhängigkeit der einzelnen Kohlenhydratformen von der Stickstoffversorgung existieren manche Untersuchungen, die wegen ihrer Differen-

ziertheit einen besseren Vergleich mit den vorliegenden Werten gewähren. Der Mono- und Disaccharidgehalt blieb bei *Agrostis palustris* von der Stickstoffdüngung unbeeinflusst, während der der Saccharose bei *Poa pratensis* sank (GREEN a.BEARD 1969). Stickstoff- und Phosphormangel erhöhte die Disaccharidmenge in Haferblättern (HECHT-BUCHHOLZ 1968); steigende Stickstoffgaben führten bei *Lolium multiflorum* zu einem Abfall der löslichen Zucker und Polyfruktosane (NOWAKOWSKI 1962 und 1969). Während bei *Lolium perenne* und *Phleum pratense* die Glukose-, Fruktose- und Saccharosewerte nur geringfügig abnahmen, wiesen die Tetra- und Polyfruktosan- sowie die Stärkegehalte in der niedrigsten und höchsten N-Düngestufe beachtenswerte Unterschiede auf. Infolge eines vermehrten Kohlenhydratverbrauchs konnte es in den jungen Pflanzen bei gutem Nährstoffversorgungsgrad nicht zur Bildung von Reserven in der Form der Speicherkohlenhydrate kommen, da alle durch die Photosynthese ständig nachgelieferten niedermolekularen Zucker sofort für die pflanzliche Produktion während der vegetativen Phase verwertet wurden. Auch bei *Dactylis glomerata* und anderen Gräsern verminderte sich der Polyfruktosangehalt nach der N-Düngung (COLBY et al. 1965; ZANONI et al. 1969). Der Verbrauch der Kohlenhydrate wird besonders während der Zeit des intensivsten Wachstums deutlich. Dagegen soll eine gute Stickstoffernährung am Ende der Wachstumsperiode die Kohlenhydratmengen erhöhen (PAULSEN a.SMITH 1968). Diese Beobachtung konnte keine der ausgeführten Grasanalysen bestätigen. Zur Zeit des zweiten Schnittes, beim Übergang in die generative Phase, wurden nicht mehr so viel Energie und somit Kohlenhydratreserven für die pflanzliche Produktion verbraucht, so daß der begünstigende Einfluß des Kaliums auf die Kohlenhydrateinlagerung vor allem bei gesteigerter Stickstoffgabe sichtbar wurde und insbesondere die Gehalte der höheren Saccharide in den meisten Fällen beträchtlich anstiegen.

Der Kaliumernährungszustand ist von entscheidender Bedeutung für die ATP - Syntheserate. PFLÜGER (im Druck) konnte nachweisen, daß die Effektivität des Lichtenergietransfers in chemische Energie bei mit Kalium gut versorgten Pflanzen größer ist als bei Kaliummangelpflanzen. In der verminderten ATP - Bildung sowie der verringerten Enzymaktivität als Folge eines zu niedrigen Kaliumangebotes dürfte einer der Gründe zu suchen sein, die für die Anreicherung niedermolekularer, organischer Verbindungen, also Aminosäuren und Monosaccharide, verantwortlich sind

(vgl. dazu auch JONES 1966; EVANS a. SORGER 1966; MURATA a. AKAZAWA 1968; MENGEL 1968; NITSOS a. EVANS 1969; TOMBESI et al. 1969). Die Glukose- und Fruktosewerte der in der Versuchsserie 1969/70 untersuchten Gramineen und Leguminosen entsprachen daher durchaus den Erwartungen, d.h. in den meisten Fällen wurde der Gehalt an Monosacchariden mit steigender K-Ernährung erniedrigt; häufig war ein kontinuierlicher Abfall von der K_0 - zur K_4 -Stufe zu verzeichnen (vgl. die Tabellen 13, 14, 29, 30, 40 und 48).

Bei einer Unterversorgung mit Stickstoff oder Kalium kommt es zu einer Anreicherung von Kohlenhydraten, die durch einen Konzentrationseffekt begünstigt wird. Sie erklärt sich im Falle des N-Mangels mit einer unzureichenden Anlieferung der N-Bausteine für die Proteinsynthese. Die Monosaccharidanhäufung bei K-Mangel deutet darauf, daß hier noch andere für das Wachstum notwendige Prozesse direkt oder indirekt von K^+ beeinflußt und zum begrenzenden Faktor werden. Nach ENNIS u. LUBIN (1965 a und b) und auch EVANS u. WILDES (1971) hat Kalium eine Bedeutung für die m-RNS-Bindung an die Ribosomen. Es ist demnach gut möglich, daß die Wachstumshemmung und die Zuckeranreicherung auch auf eine behinderte Proteinsynthese zurückgehen.

Ausreichende K-Ernährung dagegen mußte zu einer Erhöhung der Polysaccharidgehalte führen, wie die Ergebnisse der Polyfruktosan- und Stärkeanalysen der Gräser während der generativen Phase überzeugend bestätigen. Besonders eindrucksvoll ist der positive Kaliumeinfluß in der obersten N-Düngevariante, in der bei *Lolium perenne* die Polyfruktosangehalte von 0,25 % auf 4,68 % und die Stärkegehalte von 1,03 % auf 4,18 % der Trockensubstanz von der K_0 - zur K_4 -Stufe anstiegen. Entsprechende Resultate ergaben sich für *Phleum pratense*, bei dem sich die Werte der Polyfruktosane von 0,11 % auf 3,41 % und die der Stärke von 0,53 % auf 1,83 % erhöhten. Die meist zu beobachtende Abnahme im Oligo- und Polysaccharidgehalt durch steigende Stickstoffgaben ist auf ein starkes Wachstum und Hinauszögern der vegetativen Phase zurückzuführen, in der die meisten verfügbaren Kohlenhydrate für den Energiestoffwechsel und die pflanzliche Massenproduktion verwertet wurden. Die Gräser, die weniger Stickstoff erhielten und deren Wachstum infolgedessen stockte, mußten die gebildeten Photo-

syntheseprodukte als Reservestoffe einlagern. So erklärt sich das Zustandekommen der höchsten Gehalte an Kohlenhydraten bei Pflanzen mit schlechterem N-Ernährungszustand. Wird jedoch die Bezugsgröße "Ertrag an Kohlenhydraten pro Gefäß" gewählt, so finden sich - den Erwartungen entsprechend - die geringsten Polyfruktosan- und Stärkerträge in den mit Kalium und Stickstoff nur unzureichend versorgten Gramineen. Da die Kjeldahl-Stickstoffgehalte von der K_0 - zur K_4 -Variante vor allem in den $N_{1,0}$ -bis $N_{2,0}$ -Stufen bei gleichzeitiger Steigerung der Kohlenhydratgehalte abnahmen, mußte der Proteingehalt in den untersten K-Düngestufen noch relativ hohe Werte erreichen, d.h. diese Pflanzen waren die physiologisch jüngsten und noch nicht im Stadium der Kohlenhydratanreicherung (Generativphase).

Nicht immer stehen die Monosaccharidgehalte in umgekehrter Relation zur Kaliumdüngung. Bei Kohl (*Brassica oleracea capitata*) führte ein steigendes Kaliumangebot zu einer Zunahme sämtlicher Kohlenhydrate (FREEMAN a. MOSSADEGHI 1967 und 1970). Das gleiche Resultat erbrachten Hefeanalysen (WERK 1959) sowie eigene Untersuchungen an Zuckerrübenblättern. Die für diese Arbeit durchgeführten Versuche ließen dieselbe Tendenz vor allem in den obersten -Düngestufen des zweiten Schnittes erkennen. So erhöhten sich die Glukosewerte bei *Lolium perenne* von 1,17 % auf 3,44 % und bei *Phleum pratense* von 1,18 % auf 1,87 % der Trockensubstanz. Diese Ergebnisse deuten auf eine durch Kalium geförderte Assimilationsleistung.

Die gefundenen Monosaccharide sind hauptsächlich intermediäre Stoffe, die im Pflanzenkörper als Hexosephosphate (Fruktosediphosphat, Fruktosemonophosphat, Glukose-1-phosphat und Glukose-6-phosphat) beim Kohlenhydrataufbau, aber auch beim Kohlenhydratabbau vorkommen. Beim Überwiegen der Aufbauprozesse, wie es bei grünen, photosynthetisch aktiven Pflanzenteilen der Fall ist, bedeutet ein niedriges Niveau an Monohexosen, daß die Saccharose-, Polyfruktosan- und Stärkesynthese mit hoher Effizienz verläuft. Das entspricht modernen biochemischen Erkenntnissen, die besagen, daß die Aktivität einiger Enzyme, z.B. der Stärkesynthetase, mit steigender K-Konzentration in Form einer Sättigungskurve zunimmt (MURATA a. AKAZAWA 1968; NITSOS a. EVANS 1969; EVANS a. WILDES 1971). Maximale Aktivitäten wurden in vitro bei K-Konzentrationen von 50-100 mM

gefunden. Auch in vivo ist bei guter K-Ernährung mit derartig hohen K-Konzentrationen zu rechnen. So können z.B. in den Plastiden aus kleineren Monosaccharidbausteinen die Plastidenstärkekörner ungenutzt synthetisiert werden.

Die Saccharose verhält sich als kurzfristiges Speicherkohlenhydrat überraschenderweise schon wie ein Polysaccharid. Denn zu ihrer Synthese wird zusätzlich ATP benötigt. Daher mußte dieses Disaccharid, wie es in den Gräsern der generativen Phase auch geschah, durch Kalium begünstigt werden, so daß beim Weidelgras in der $N_{2,0}$ -Variante ein Anstieg von 0,68 % auf 4,52 % und beim Lieschgras von 2,05 % auf 3,70 % der Trockensubstanz zu verzeichnen war. Schon SCHECK (1953) konnte nachweisen, daß bei Kaliummangel in Blättern der Beta-Rübe Saccharose kaum noch vorhanden war, während sich reduzierende Zucker anreicherten. Durch Kaliumzugabe war eine wesentliche Rohrzuckerzunahme zu erzielen. Diese Beobachtung konnte durch eigene Versuche untermauert werden. Gerade das unterschiedliche Verhalten der Mono- und Disaccharide gegenüber Kalium rechtfertigt die vereinfachende Betrachtung der Saccharose als löslichen Zucker nicht.

Für die Leguminosen ergab sich ein im wesentlichen ähnliches Bild wie für die Gräser der vegetativen Phase. Denn es war in keiner der Kohlenhydratfraktionen des ersten und zweiten Schnittes ein positiver Kaliumeffekt erkennbar. Da die beiden untersuchten Kleearten nicht wie die Gramineen beim Einsetzen der generativen Phase ihr Wachstum einstellen und da zudem die Rhizobien gerade zur Zeit des Hauptwachstums bis zum Blühstadium die größten Stickstoffmengen an die Pflanzen liefern, konnten sich keine nennenswerten Kohlenhydratreserven ansammeln. Daß eine gute Kaliumversorgung auch bei den Leguminosen der zweiten Ernte nicht zu einer Anreicherung der Saccharose und Stärke führte, erklärt sich darüber hinaus aus der indirekten N-Düngungswirkung, die als eine Folge der Kaliumzugaben bei *Trifolium pratense* und *Medicago sativa* nachweisbar ist (KOCH, im Druck).

Verursacht durch die niedrigen Temperaturen verlaufen im Winter alle Stoffwechselprozesse, auch die der Photosynthese, verlangsamt. So ist es erklärlich, daß eine bemerkenswerte Düngewirkung nie zu beobachten war. Aber die Zusammensetzung des Kohlenhydratspektrums

ergibt einige interessante Aspekte.

Nach der Regel von LIDFORSS speichern wintergrüne Blätter während des Sommers neben wenig Zucker bevorzugt Stärke. Im Winter soll dagegen der Zuckeranteil überwiegen. Für die Wurzeln könnte in unseren Klimazonen ein ähnlicher, aber abgeschwächter Verlauf angenommen werden (JEREMIAS 1964). Unter den Monosacchariden wird besonders der Glukose, weniger der Fruktose eine untergeordnete Bedeutung für das winterliche Kohlenhydratmaximum zugesprochen (JEREMIAS 1964). Die vorliegenden Ergebnisse vermögen diese Beobachtungen nur bedingt zu bestätigen. Zwar steigen im Sproß die Zuckergehalte, in erster Linie die der Saccharose, bei den Gräsern auch die der Fruktose, zum Winter hin beachtlich an, doch werden gleichzeitig - wenn auch nicht in demselben Maße - die Stärkemengen erhöht. Das zu erwartende Stärkeminimum während der Ruheperiode war nie nachweisbar. Eine Anreicherung der Reservekohlenhydrate vom Herbst zum Winter hin fanden bei Gramineen auch POWELL et al. (1967). Zu einem stetigen Stärke- und Zuckeranstieg in Gurken-, Melonen- und Baumwollblättern, der bei + 5°C allerdings zum Stillstand kam, führte eine Temperaturerniedrigung auf 10 bis 15°C (NEZGOVOROV et al. 1966).

Die Galaktoside der Saccharose, die eine vor allem temperaturbedingte Jahresrhythmik aufweisen (PARKER 1958; JEREMIAS 1964 und 1968; FRANKE 1968), traten im Winter bevorzugt auf, da ihre Bildung durch die Kälte angeregt wird. Die Raffinoside könnten als rasch verwertbare Kohlenhydratreserven und Osmoregulatoren fungieren (JEREMIAS 1964). Die Gramineen und Leguminosen enthielten jedoch zu geringfügige Mengen an Raffinose und Stachyose, als daß diese nennenswerte Energielieferanten darstellten. Gegen die Speicheraufgabe der galaktosehaltigen Oligosaccharide spricht zudem die Tatsache, daß sie eigenartigerweise durch die Kaliumdüngung stets negativ beeinflusst wurden und überdies bereits in den jungen, d.h. noch nicht überwinterten Klee- und Graspflanzen zu finden waren. Die recht niedrigen Temperaturen des Frühjahrs 1969 könnten das Auftreten der Raffinosezucker erklären. Es wäre allerdings auch denkbar, daß diese Kohlenhydrate aus dem Keimlingsstoffwechsel stammten. Das Vorkommen der Raffinose in keimenden Samen ist bekannt (TÄUFEL et al. 1960 und 1962; SHIROYA 1965; ABRAHAMSEN a. SUDIA 1966;

AUGSTEIN 1967; FRIDHAM et al. 1969). Die eigentliche Funktion der Raffinose ist bis jetzt noch unbekannt. Tatsache ist, daß sie unter natürlichen Bedingungen stets während des Winters auftreten und im Sommer während der Hauptwachstumszeit bei manchen Pflanzen nachweisbar sind, bei anderen dagegen nicht (JEREMIAS 1962 und 1964).

In den Leguminosenwurzeln als den Speicherorganen fielen die hohen Gehalte an Saccharose und Stärke auf, die hier ihre absoluten Maxima erreichten und vom K-Ernährungszustand positiv beeinflußt wurden.

Die Untersuchungsergebnisse des Wurzelmaterials bekräftigten die für den Sproß gefundenen Resultate, nach der die zu ihrer Synthese vermehrt ATP verbrauchenden Kohlenhydrate wie Di- und Polysaccharide durch eine gute Kaliumernährung begünstigt werden, während die Monosaccharidanteile abnehmen. Raffinose und Stachyose traten in den Wurzeln in so geringen Mengen auf, daß ihnen auch hier keine Speicherfunktion zugesprochen werden kann. Die durch K positiv beeinflussten, beachtenswert hohen Kohlenhydratreserven der Wurzeln lieferten im Frühjahr 1970 leicht verfügbare Vorräte für Energie- und Aufbaustoffwechsel. Die Folge war ein durch Kalium außerordentlich geförderter Wiederaustritt, wie die Ertragstabellen erkennen lassen (vgl. dazu auch MacLEOD 1965 b und 1969).

Gedrosseltes Wachstum, das aufgrund eines Nährstoffmangels oder ungünstiger ökologischer Faktoren zu beobachten ist, führt stets zu einer Anhäufung von Assimilaten, da die Photosynthese - wenn auch mit geringerer Intensität - weiterverläuft. In diesem Zusammenhang erscheint es erwähnenswert, daß die Anhäufung von Zuckern (namentlich von Saccharose) und Stärke z.B. im Winter oder zu Zeiten extremer Trockenheit weniger die Ursache einer Frost- oder Dürrehärte, sondern vielmehr die Folge schlechter Wachstumsbedingungen sein dürfte. Die Assimilat-anreicherung bei Frost und Dürre ist demnach nur als eine Sekundärreaktion zu werten, die so weit fortschreiten kann (z.B. im arktischen Sommer), daß die Photosynthese gehemmt wird (MENGEL, im Druck).

VI. Zusammenfassung

- I. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluß der Stickstoff- und Kaliumernährung sowie des physiologischen Alters auf den Kohlenhydrathaushalt verschiedener Blütenpflanzen zu untersuchen.
- II. Da die in der Literatur dargestellten Bestimmungen der qualitativen und quantitativen Kohlenhydratanalyse Mängel aufweisen, galt es, eine für Routineuntersuchungen geeignete Methodik auszuarbeiten. Sie bestand im wesentlichen aus der Extraktion des luftgetrockneten Pflanzenmaterials mit 75 %-igem Äthanol bzw. Wasser und der anschließenden papierchromatischen Trennung der Zucker. Die aus dem Papier gelösten Saccharide ließen sich spektralphotometrisch - die Ketosen nach Versetzen mit Orzinreagenz und darauffolgendem Erhitzen, die Aldosen nach Versetzen mit Anthronreagenz - ermitteln.
- III. Die wichtigsten Untersuchungsergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:
 - 1.) Hauptsächlich war das Kohlenhydratmuster von der Pflanzenart sowie der Jahreszeit abhängig. Mit Ausnahme der Fruktosane, die in Leguminosen nicht synthetisiert werden, waren Glukose, Fruktose, Mannoheptulose, Saccharose, Raffinose, Stachyose, Tetra- und Polyfruktosane, Stärke und Zellulose nachweisbar.
 - 2.) Quantitative Analysen ergaben, daß die Nährstoffabhängigkeit der Kohlenhydratgehalte vom physiologischen Alter entscheidend beeinflußt wird.
 - a) Eine optimale Versorgung mit Stickstoff und Kalium führte in den jungen Gramineen zu einer Erniedrigung sowohl der Mono- als auch der Polysaccharidgehalte, während es in den mit diesen Nährionen nicht hinreichend versorgten Pflanzen zu einer Anreicherung der Kohlenhydrate kam.
 - b) Beim Übergang von der vegetativen zur generativen Phase wurde der Kohlenhydratgehalt durch steigende Kaliumdüngung deutlich erhöht. Das zeigte sich be-

sonders in den gut mit Stickstoff versorgten Varianten. Dagegen sanken in den Pflanzen mit schlechtem N-Versorgungsgrad trotz zunehmender Kaliumgaben die Kohlenhydratgehalte in den meisten Fällen ab. Bei den K-Mangelpflanzen hatte eine zusätzliche Stickstoffdüngung ebenfalls einen Rückgang der Kohlenhydratmengen zur Folge.

- c) Das physiologische Alter war für den Kohlenhydrat-spiegel der Leguminosen nur von untergeordneter Bedeutung, da sie im Gegensatz zu den Gräsern keine ausgeprägte Generativphase besitzen. Steigende Kaliumgaben wirkten bei den Kleearten wie eine indirekte Stickstoffdüngung, so daß die vermehrt gebildeten Assimilate für verstärktes Massenwachstum verwertet werden konnten und es nicht zu einer durch Kalium begünstigten Anreicherung kam.
- d) Zur Zeit der Ruheperiode war eine bemerkenswerte Beeinflussung der kohlenhydratgehalte durch die Nährstoffgaben weder bei den Gramineen noch bei den Leguminosen zu erkennen. Auffällig erscheint jedoch, daß eine Kaliumdüngung zu einer Erniedrigung der Raffinose- und Stachyosewerte führte.

Demgegenüber kam es im Winter in den Leguminosenwurzeln zu einer durch Kalium geförderten Ablagerung von Reservkohlenhydraten, namentlich von Saccharose und Stärke, die als Erklärung für die höheren Erträge nach dem Wiederaustrich im Frühjahr anzusehen sind.

- e) Die Ergebnisse führen zu der Erkenntnis, daß die durch Kalium begünstigten Prozesse, wie Aktivierung der Enzyme, Förderung der ATP-Syntheserate, der Photo- und Proteinbiosynthese, letztlich die Ursache für die unterschiedlichen Gehalte an Kohlenhydraten sind, während Stickstoff als Bauelement für deren Verwertung unentbehrlich ist.

- V. Bei physiologisch jungen Pflanzen werden die durch eine reichliche Kaliumernährung vermehrt anfallenden Assimilate hauptsächlich für das Massenwachstum, d.h. für die Proteinsynthese verwendet. Eine durch Kalium hervorgerufene Anreicherung von Polysacchariden ist nur am Ende der vegetativen Phase bzw. beim Übergang zur generativen Phase zu erwarten.

VII. Literaturverzeichnis

- ABRAHAMSEN, M. and SUDIA, T.W.: Studies on the soluble carbohydrates and carbohydrate precursors in germinating soy bean seed.
Amer. J. Bot. 53, 108-114 (1966)
- ALBON, N. and GROSS, D.: The chromatographic determination of raffinose in raw sugars.
Analyst 77, 410-412 (1952)
- ALDERS, P. und FREISKORN, R.: Quantitative Zuckerbestimmung mit Hilfe der Papierchromatographie.
Liebigs Ann. Chem. 622, 150-159 (1959)
- AMBERGER, A.: Einfluß von Kalium und Stickstoff auf Ferment- und Kohlenhydrathaushalt von Grünlandpflanzen.
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 66, 211-222 (1954)
- AMBERGER, A.: Kohlenhydratstoffwechsel und Atmung einiger Kulturpflanzen und ihre Auswirkung auf Qualität und Lagerfähigkeit.
Landw.Forsch. 6. Sonderheft, 134-138 (1955)
- AUGSTEIN, H.: Zur Beziehung zwischen Nachreife und Zuckerstoffwechsel bei Bulbillen von *Ficaria verna* Huds..
Flora, Abt. A, 158, 604-608 (1967)
- BAILEY, R.W.: Carbohydrates in pasture species.
I. The starch content of clovers and rye-grass.
J.Sci.Fd.Agric. 2, 743-747 (1958a)
- BAILEY, R.W.: Carbohydrates in pasture species.
II. The soluble sugars of red clover (*Trifolium pratense*).
J.Sci.Fd.Agric. 2, 748-753 (1958b)
- BAILEY, R.W.: Colour reactions between sugars and diphenylamine urea and diphenylamine-p-anisidine on paper chromatograms.
J. Chromatogr. 8, 57-62 (1962)
- BAILEY, R.W.: Maltose in red clover (*Trifolium pratense*) leaves.
Nature 199, 1291 (1963)
- BAILEY, R.W. and BOURNE, E.J.: Colour reactions given by sugars and diphenyl-amine-aniline spray reagents on paper chromatograms.
J.Chromatogr. 4, 206-213 (1960)
- BARRENSCHEEN, H.K. und v. VALYI-NAGY, T.: Eine modifizierte Orzin-Reaktion zur Bestimmung kleinster Mengen von Pentosen, Nukleotiden und Glukuronsäuren.
Z. Naturforsch. 4b, 203-207 (1949)

- BELL, D.J.: Mono- and oligosaccharides and acidic mono-saccharide derivatives.
In: Paech, K. und Tracey, M.V.: *Moderne Methoden der Pflanzenanalyse*.
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1955)
- BELOSERSKI, A.N. und PROSKURJAKOW, N.J.: *Praktikum der Biochemie der Pflanzen*.
Deutscher Verlag der Wissenschaften,
Berlin (1956)
- BENEDICT, R.G., TYLER jr., V.E., BRADY, L.R. and STUNTZ D.E.:
Occurrence of sedoheptulose in carpophores
and basidiospores of *Inocybe* species.
Nature 192, 1080-1081 (1961)
- BEVENUE, A. and WILLIAMS, K.T.: Further evidence indicating
the specificity of the orcinol spray reagent
for ketoheptoses on paper chromatograms.
Arch. Biochem. Biophys. 34, 225-227 (1951)
- BINKLEY, W.W.: Column chromatography of sugar and their
derivates. *Adv. Carbohydrate Chem.* 10,
55-79 (1955)
- BROWN, R.H. and BLASER, R.E.: Relationship between reserve
carbohydrate accumulation and growth rate
in orchardgrass (*Dactylis glomerata*) and
tall fescue (*Festuca arundinacea*).
Crop Sci. 5, 577-582 (1965)
- BROWN, R.H. and BLASER, R.E.: Soil moisture and temperature
effects on growth and soluble carbohydrates
of orchardgrass (*Dactylis glomerata*).
Crop Sci. 10, 213-216 (1970)
- BUCHAN, J.L. and SAVAGE, R.I.: Paper chromatography of some
starch conversion products.
Analyst 77, 401 (1952)
- CHALIHA, B.P., SASTRY, G.P. und RAO, P.R.: Zum Nachweis von
Zuckern und freien Aminosäuren im Saft von
Assam-Zitronen.
Analyt. Chem. 210, 210 (1965)
- CHAN, B.G. and CAIN, J.C.: Improved benzidine sugar reagent for
paper chromatograms.
Nature 192, 69-70 (1961)
- COLBY, K.G., DRAKE, M., FIELD, D.L. and KREOWSKI, G.:
Seasonal patterns of fructosans in orchard-
grass stubble as influenced by nitrogen and
harvest management.
Agronomy J. 57, 169-173 (1965)

- COLEY, W.G., DRAKE, M., OOHARA, H. and YOSHIDA, N.:
Carbohydrate reserves in orchardgrass.
Reprinted from: Proceedings of the
X. International Grassland Congress (1966),
Section 1, Paper 15
- COOPER, R.B., BLASER, R.E. and BROWN, R.H.: Potassium nutrition
effects on net photosynthesis and morphology
of alfalfa.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31, 231-235 (1967)
- CRLECH, R.G.: Carbohydrate synthesis in maize.
Advan. Agron. 20, 275-322 (1968)
- DIMLER, J.S., SCHAEFER, W.C., WISE, C.S. and RIST, C.E.:
Quantitative paper chromatography of d-glucose
and its oligosaccharides.
Analyt. Chem. 24, 1411-1414 (1952)
- DISCHE, Z.: Qualitative and quantitative colorimetric
determination of heptoses.
J. Biol. Chem. 204, 983-997 (1953)
- DISCHE, Z.: General Color Reactions,
In: Whistler, R.L. and Wolfrom, M.L.:
Methods in carbohydrate chemistry.
Academic Press, New York (1962)
- DREYWOOD, R.: Qualitative test for carbohydrate material.
Analyt. Chem. 18, 499 (1946)
- DUBOIS, M., GILLES, K.A., HAMILTON, J.K., REBERS, P.A. and
SMITH, F.: Colorimetric method for
determination of sugars and related
substances.
Analyt. Chem. 28, 350-356 (1956)
- EBELL, L.F.: Specific total starch determinations in conifer
tissues with glucose oxidase.
Phytochem. 8, 25-36 (1969)
- ENNIS, H.L. and LUBIN, M.: Pre-ribosomal particles formed in
potassium depleted cells.
Biochem. Biophys. Acta 95, 605-623 (1965)
- ENNIS, H.L. and LUBIN, M.: Selective synthesis of ribosomal
protein during recovery from unbalanced
growth.
Biochem. Biophys. Acta 95, 624-633 (1965)
- EVANS, H.J. and SORGER, G.J.: Role of mineral elements with
emphasis on the univalent cations.
Ann. Rev. Plant Physiol. 17, 47-76 (1966)

- EVANS, H.J. and WILDES, R.A.: Potassium and its role in enzymic activation.
Colloquium of Skokloster/Uppsala (1971);
International Potash Institute, Berne-Switzerland.
- FEINGOLD, D.S., NEUFELD, E.F. and HASSID, W.Z.: Synthesis of a - 1, β -linked glucan by extracts of phaseolus aureus seedlings.
J. Biol. Chem. 233, 783-788 (1958)
- FINK, K., CLINE, R.E. and FINK, R.M.: Paper chromatography of several classes of compounds: correlated R_f -values in a variety of solvent systems.
Analyt. Chem. 35, 389-398 (1963)
- FLOWERS, H.M., BATRA, K.K., KEMP, J. and HASSID, W.Z.: Biosynthesis of insoluble glucans from uridine-diphosphate-d-glucose with enzyme preparations from Phaseolus aureus and Lupinus albus.
Plant Physiol. 43, 1703-1709 (1968)
- FRANKE, W.: Der jahreszeitlich unterschiedliche Vitamin-C-Gehalt in Koniferennadeln als Folge von Ascorbinsäurebiosynthese und -abbau.
Z.f. Pflanzenphysiologie 60, 30-37 (1968)
- FREEMAN, G.G. and MOSSADEGHI, N.: Effect of potassium nutrition on composition of leaves. Extrakt from National Vegetable Research Station
Report for 1967 (Biochemistry Department)
- FREEMAN, G.G. and MOSSADEGHI, N.: Effect of potassium nutrition on the composition of leaves of cabbage seedlings (Brassica oleracea capitata).
J. Sci. Fd. Agric. 21, 492-495 (1970)
- GARDELL, S.: A colorimetric method for the determination of monosaccharides in organic solvents for use in partition chromatography.
Acta Chem. Scand. 2, 1011-1019 (1951)
- GHEORGHIU, T. and OETTE, K.: Die gaschromatische Analyse von Zuckern und Zuckerderivaten aus nicht dialysierbaren Substanzen biologischer Flüssigkeiten.
J. Chromatogr. 48, 430-445 (1970)
- GIOVANNI, S.: Solvent for quantitative paper chromatography of sugars.
Nature 177, 586-587 (1956)

- GORDON, H.T., THORNBURG, W. and WERUM, L.N.: Rapid paper chromatography of carbohydrates and related compounds.
Analyt. Chem. 28, 849-855 (1956)
- GÖRING, H. und DREIER, W.: Eine einfache kolorimetrische Methode zur simultanten Bestimmung von Glukose, Fruktose und Saccharose in pflanzlichen Geweben.
Flora 158, 549-552 (1967)
- GREEN, D.G. and BEARD, J.B.: Seasonal relationships between nitrogen nutrition and soluble carbohydrates in the leaves of *Agrostis palustris* Huds. and *Poa pratensis* L.
Agronomy J. 61, 107-111 (1969)
- GRIFFITH, G. and WALTERS, R.J.K.: The sodium and potassium content of some grass genera, species, and varieties.
J. Agric. Sci., Camb. 67, 81-89 (1966)
- HAIS, M. und MACEK, K.: Handbuch der Papierchromatographie.
Fischer-Verlag, Jena (1958)
- HAQ, S. and HASSID, W.Z.: Biosynthesis of sucrose phosphate with sugar cane leaf chloroplasts.
Plant Physiol. 40, 591-594 (1965)
- HASSID, W.Z.: Transformation of sugars in plants.
Ann. Rev. Plant Physiol. 18, 253-280 (1967 a)
- HASSID, W.Z.: Biosynthesis of complex saccharides.
In: Greenberg, D.M.: Metabolic pathways.
Academic Press, New York (1967 b)
- HASSID, W.Z. and NEUFELD, E.F.: Quantitative determination of starch in plant tissues.
In: Whistler, R.L. and Wolfrom, M.L.: Methods in carbohydrate chemistry.
Academic Press, New York (1964)
- HEBER, U.: Ursachen der Frostresistenz bei Winterweizen. I. Die Bedeutung der Zucker für die Frostresistenz.
Planta 52, 144-172 (1958)
- HUCHT-BUCHHOLZ, C.: Mono- und Disaccharidgehalt, osmotischer Wert und N : P - Verhältnis von Hafer und Tomaten bei Phosphormangel.
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk. 121, 245-256 (1968)
- HEILENZ, S., HÖFNER, W. und NEUMANN, K.M.: Biochemisches Praktikum.
Bibliographisches Institut, Mannheim (1968)

- HELAL, M. und MENGEL, K.: Der Einfluß einer variierten N- und K- Ernährung auf den Gehalt an löslichen Aminoverbindungen und auf die Ertragsbildung bei Sommerweizen.
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk. 120, 89-98 (1968)
- HELBERT, J.R. and BROWN, K.D.: Color reaction of anthrone with monosaccharide mixtures and oligo- and polysaccharides containing hexuronic acids.
Analyt. Chem. 29, 1464-1466 (1957)
- HESSE, G., ENGELHARDT, H. und KLOTZ, D.: Dünnschichtchromatographie an Madderelchem Salz.
Analyt. Chem. 215, 182-186 (1965)
- HOJJATI, S.M., McCREERY, R.A. and ADAMS, W.E.: Effects of nitrogen and potassium fertilisation, irrigation, and clipping interval on chemical composition of coastal bermuda-grass (*Cynodon dactylon*, L., Pers.). I. Total available carbohydrates.
Agronomy J. 60, 617-618 (1968)
- HOLT, D.A. and HILST, A.R.: Daily variation in carbohydrate content of selected forage crops.
Agronomy J. 61, 239-242 (1969)
- HOUGH, L. and JONES, J.K.N.: Chromatography on paper.
In: Whistler, R.L. and Wolfrom, M.L.: Methods in carbohydrate chemistry.
Academic Press, New York (1962)
- HUNTER, R.A., McINTYRE, B.L. and McILROY, R.J.: Water-soluble carbohydrates of tropical pasture grasses and legumes.
J. Sci. Ed. Agric. 21, 400-405 (1970)
- IMMERS, I.: Die papierchromatographische Trennung von Zuckergemischen und ihre nachfolgende colorimetrische Bestimmung.
Analyt. Chem. 213, 63 (1965)
- JAYME, G. und KNOLLE, H.: Papierchromatographie von Zuckergemischen auf Glasfaserpapieren.
Angew. Chem. 68, 243-246 (1956)
- JEREMIAS, K.: Zur Physiologie der Frosthärtung (unter besonderer Berücksichtigung von Winterweizen).
Planta 47, 81-104 (1956)
- JEREMIAS, K.: Über den Jahresgang einiger Zucker in den Blättern von *Hedera helix* L.
Planta 52, 195-205 (1959)
- JEREMIAS, K.: Die Biosynthese der Saccharose.
Naturw. Rdsch. 13, 433-434 (1960)

- JEREMIAS, K.: Der Einfluß der Temperatur auf die Speicherung der Raffinose-Zucker.
Ber. dtsch. bot. Ges. 75, 314-322 (1962)
- JEREMIAS, K.: Über die jahresperiodisch bedingten Veränderungen der Ablagerungsform der Kohlenhydrate in vegetativen Pflanzenteilen (unter besonderer Berücksichtigung der Zucker der Raffinose-Gruppe).
Botan. Studien 15, 1-96 (1964)
- JEREMIAS, K.: Zur Biochemie der Polyfruktosane.
Naturw. Rdsch. 2, 362-363 (1965 a)
- JEREMIAS, K.: Der Einfluß des Welkens auf den Zucker- und Stärkegehalt isolierter Blätter von *Teucrium chamaedrys* und *Brunella grandiflora*.
Planta 65, 73-82 (1965 b)
- JEREMIAS, K.: Der Einfluß der Bodentrockenheit auf den Zucker-gehalt vegetativer Pflanzenteile.
Z. Pflanzenphysiol. 54, 237-239 (1966)
- JEREMIAS, K.: Zum Verhalten einiger Kohlenhydrate in Blättern und Rinden der Pappelsorten Oxford, Rochester und Androscoggin.
Mitteilgn. Ver. forstl. Standortskd. Forstpflanzenzüchtg. 18, 89-94 (1968)
- JEREMIAS, K. und KULL, U.: Zum Vorkommen von Maltose in vegetativen Pflanzenteilen.
Experientia 22, 141-142 (1966)
- JERMIN, M.A. and ISHERWOOD, F.A.: Improved separation of sugars on a paper partition chromatogram.
Biochem. J. 44, 402-407 (1949)
- JOHAM, H.J.: Carbohydrate distribution as affected by calcium deficiency in cotton.
Plant Physiol. 32, 113-117 (1957)
- JONES, L.H.: Carbon-14 studies of intermediary metabolism in potassium deficient tomato plants.
Canad. J. Bot. 44, 297-307 (1966)
- KIRKBY, E.A.: Nitrogen nutrition of the plant.
LEEDS (1970)
- KLEINSCHMIDT, M.G., DOBRENZ, A.K., and McMAHOU, V.A.: Gas chromatography of carbohydrates in alfalfa nectar.
Plant Physiol. 43, 665-667 (1968)

- KLEVSTRAND, R. and NORDAL, A.: A spraying reagent for paper chromatograms which is apparently specific for ketoheptoses.
Acta Chem. Scand. 4, 1320 (1950)
- KLIEWER, W.M.: Sugars and organic acids of *Vitis vinifera*.
Plant Physiol. 41, 923-931 (1966)
- KOCH, K. und MENGEL, K.: Der Einfluß einer gesteigerten und in unterschiedliche Tiefen gebrachten K-Düngung auf den Ertrag, auf den Gehalt und die Zusammensetzung der löslichen Aminofraktion von *Trifolium pratense*.
(Im Druck)
- KOCH, R.B., GEDDES, W.F. and SMITH, F.: The carbohydrates of gramineae. I. The sugars of the flour of wheat.
Cereal Chem. 28, 424-430 (1951)
- KORYTNYK, W. and METZLER, E.: Formation of raffinose and stachyose in lima beans (*Phaseolus lunatus*).
Nature 195, 616-617 (1962)
- KOWKABANY, G.N.: Paper chromatography of carbohydrates and related compounds.
Advan. Carbohydr. Chem. 9, 303-353 (1954)
- KULL, U.: Über das Vorkommen und das physiologische Verhalten der Sedoheptulose im Rahmen des Kohlenhydrathaushaltes vegetativer Pflanzenteile.
Beitr. Biol. Pflanzen 41, 231-300 (1965)
- KULL, U.: Die Jahresperiodik einiger nichtflüchtiger Kohlen-säuren in *Sempervivum tectorum* L.
Planta 79, 299-311 (1968)
- LAMPORT, D.T.A.: Cell wall metabolism.
Ann. Rev. Plant Physiol. 21, 235-270 (1970)
- LEFEBVRE-DROUET, E.: Etude des variations de la composition minérale, protidique et glucidique des racines et des parties aériennes du dactyle (influence de la fertilisation potassique).
Annales Agron. 21, 384-402 (1970)
- LENK, H.P.: Ein Diagramm zur Ermittlung der R_f -Werte bei der Mehrfach-Papierchromatographie.
Analyt. Chem. 184, 107-110 (1961)
- LEWIS, B.A. und SMITH, F.: Zucker und Derivate.
In: Stahl, E.: *Dünnschichtchromatographie*.
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1967).

- LINSKENS, H.F.: Papierchromatographie in der Botanik.
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg
(1959)
- LOVING, H.S., LEVY, L.W. and MOSS, L.K.: Detection and paper
chromatography of sugars and sugar phosphates
in picric acid system.
Analyt. Chem. 28, 539-540 (1956)
- McCREADY, R.M., GUGGOLZ, J., SILVIERA, V. and OWENS, H.S.:
Determination of starch and amylose in
vegetables.
Analyt. Chem. 22, 1156-1158 (1950)
- MacLEOD, L.B.: Effect of nitrogen and potassium on the yield,
botanical composition, and competition for
nutrients in three alfalfa-grass associations.
Agronomy J. 57, 129-134 (1965 a)
- MacLEOD, L.B.: Effect of nitrogen and potassium on the yield,
regrowth, and carbohydrate content of the
storage organs of alfalfa and grasses.
Agronomy J. 57, 345-350 (1965 b)
- MacLEOD, L.B.: Effect of nitrogen, phosphorus, and potassium and
their interactions on the yield and kernel weight
of barley in hydroponic culture.
Agronomy J. 61, 26-29 (1969)
- MARSCHNER, H.: Aufnahme und Funktion von K^+ bei höheren Pflanzen.
Wissenschaftliche Kali-Tagung, Hannover (1968)
(Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Bünthehof)
- MARTENS, J.W. and ARNY, D.C.: Nitrogen and sugar levels of pith
tissue in corn as influenced by plant age and
by potassium and chloride ion fertilization.
Agronomy J. 59, 332-334 (1967)
- MATTHIAS, W.: Über ein papierchromatographisches Verfahren für
Serienuntersuchungen in der Pflanzenzüchtung.
Züchter 24, 313-316 (1954 a)
- MATTHIAS, W.: Serienuntersuchungen mit Hilfe einer neuen Form
der Streifen-Papierchromatographie.
Naturwiss. 41, 17-18 (1954 b)
- MATTHIAS, W.: Über eine einfache Methode für papierchromato-
graphische Untersuchungen (Keilstreifenver-
fahren).
Naturwiss. 45, 351-352 (1956)
- MAYR, H.H.: Bau- und Inhaltsstoffe von Kulturpflanzen (Klassifi-
zierung, Vorkommen, Bedeutung).
Handbuch d. Pflanzenernähr. u. Düng. Bd. I, 1,
51-61
Springer-Verlag, Wien-New York (1969)

- MEINL, G.: Über den Tagesgang der Assimilation und des Kohlenhydratgehaltes von Kartoffelblättern.
Z. Bot. 51, 388-398 (1963)
- MENGEL, K.: Funktion und Bedeutung des Kaliums im pflanzlichen Stoffwechsel.
Naturw. Rdsch. 21, 332-336 (1968)
- MENGEL, K.: Funktionen anorganischer Verbindungen in der lebenden Zelle.
Intern. J. Vitalstoffe-Zivilisationskrankh. 14, 191-194 (1969)
- MENGEL, K.: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze.
4. Auflage, Fischer-Verlag, Stuttgart
(im Druck)
- MENGEL, K. und HELAL, M.: Der Einfluß einer variierten N- und K-Ernährung auf den Gehalt an löslichen Aminoverbindungen in der oberirdischen Pflanzmasse von Hafer.
Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkd. 120, 12-20 (1968)
- MENGEL, K. und HELAL, M.: Der Einfluß einer kurzfristigen mineralischen N-Ernährung auf den Gehalt an löslichen Aminosäuren in Wurzeln und Sproß von Weizenkeimpflanzen.
Z. Pflanzenernähr. u. Bodenkd. 123, 196-204 (1969)
- MEYER, M.M. and SPLITTSTOESSER, W.E.: The utilization of carbohydrate and nitrogen reserves in the spring growth of lilac.
Physiol. Plant. 22, 870-879 (1969)
- MISRA, P.C., SETTY, P.N., SINGH, D.V., LAL, R.K., VISWANATHAN, P.N., SAXENA, Y.R. and KRISHNAN, P.S.: Heterogeneity in composition along the length of Cuscuta filaments.
Physiol. Plant. 23, 1025-1032 (1970)
- MOONEY, H.A. and BILLINGS, W.D.: The annual carbohydrate cycle of alpine plants as related to growth.
Amer. J. Bot. 47, 594-598 (1960)
- MORRIS, D.L.: Quantitative determination of carbohydrates with Dreywood's anthrone reagent.
Science 107, 254-255 (1948)
- MÜLLER, K.: Über die quantitative Zucker- und Stärkebestimmung in Pflanzen.
Landw. Forsch. 16, 18-28 (1963)
- MURATA, T. and AKAZAWA, T.: Enzymic mechanism of starch synthesis in sweet potato roots. I. Requirement of potassium ions for starch synthetase.
Arch. Biochem. Biophys. 126, 873-879 (1968)

- MURPHY, R.P.: A method for the extraction of plant samples and the determination of total soluble carbohydrates.
J. Sci. Fd. Agric. 2, 714-717 (1958)
- NAUMANN, K.: Änderung und Ergänzung von Verbands-Methoden.
Landw. Forsch. 12, 70-72 (1959)
- NEHRING, K.: Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden für Dünge- und Futtermittel, Böden und Milch.
Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin (1960)
- NELSON, C.J. and SMITH, D.: Growth of birdsfoot trefoil and alfalfa. III. Changes in carbohydrate reserves and growth analysis under field conditions.
Crop Sci. 8, 25-28 (1968)
- NEZGOVOROV, L.A., SOLOVYOV, A.K. and SKACHKOVA, E.N.:
Starch and soluble carbohydrates in thermophilic plants at low temperatures.
Fiziol. Rastenij 17, 1012-1018 (1966)
- NITSOS, R.E. and EVANS, H.J.: Effects of univalent cations on the activity of particulate starch synthetase.
Plant Physiol. 44, 1260-1266 (1969)
- NORDAL, A. and KLEVSTRAND, R.: On the occurrence of sedoheptulose in certain species and genera of the plant family Saxifragaceae.
Acta Chem. Scand. 6, 446-447 (1952)
- NORDIN, H.J. and KIRKWOOD, S.: Biochemical aspects of plant polysaccharides.
Ann. Rev. Plant Physiol. 16, 393-414 (1965)
- NOWAKOWSKI, T.Z.: Effects of nitrogen fertilizers on total nitrogen, soluble nitrogen and soluble contents of grass.
J. Agric. Sci., Camb. 59, 387-392 (1962)
- NOWAKOWSKI, T.Z.: Effects of nitrogen and potassium fertilizers on contents of carbohydrates and free amino acids in Italian ryegrass. I. Effects on growth and soluble carbohydrate contents of leaves, stubble and roots.
J. Sci. Fd. Agric. 20, 666-670 (1969)
- NYMAN, B.: Studies on sugars and starch in light- and dark-germinated seeds of scots pine (*Pinus silvestris*).
Physiol. Plant. 22, 441-452 (1969)
- OKANENKO, A.S. und BERSTEJN, B.I.: Die Rolle von Kalium und Natrium für die Wachstumsprozesse bei Zuckerrüben.
Land. Zentralbl. Abtlg. II, 1, 914 (1967)

- ORDIN, L. and HALL, M.A.: Cellulose synthesis in higher plants from UDP glucose.
Plant Physiol. 43, 473-476 (1968)
- OZBUN, J.L., VOLK, R.J. and JACKSON, W.A.: Effects on potassium deficiency on photosynthesis, respiration and the utilization of photosynthetic reductant by mature bean leaves (*Phaseolus vulgaris*).
Crop Sci. 5, 497-500 (1965)
- PANDEJ, R.M.: Einfluß von Kalimangel auf den Kohlenhydratstoffwechsel in der Baumwollpflanze in verschiedenen Entwicklungsstadien.
Landw. Zentralbl., Abtlg. II, 14, 2935-2936 (1969)
- PAPE, G., SUN-SHEN, I. und SCHÖN, W.J.: Zur quantitativen Bestimmung der Reservekohlenhydrate in Pflanzenmaterial.
Z. Acker- u. Pflanzenbau 130, 16-32 (1969)
- PARKER, J.: Changes in sugar and nitrogen compounds of tree barks from summer to winter.
Naturwiss. 45, 139 (1958)
- PARTRIDGE, S.M.: Anilinhydrogenphthalate as a spraying reagent for chromatography of sugars.
Nature 164, 443 (1949)
- PARTRIDGE, S.M. and WESTALL, R.G.: Filter-paper partition chromatography of sugars.
Biochem. J. 42, 238-253 (1948)
- PAULSEN, G.M. and SMITH, D.: Influences of several management practices on growth characteristics and available carbohydrate content of smooth brome grass (*Bromus inermis*).
Agronomy J. 60, 375-379 (1968)
- PFLÜGER, R.: Die photochemische Aktivität von Chloroplasten aus unterschiedlich mit Kalium ernährten Pflanzen.
(Im Druck)
- POTTER, E.F. und LONG, M.C.: Zuckerbestimmung in grünen und getrockneten Pflanzen sowie in pflanzlichem Futtermaterial.
Analyt. Chem. 227, 200 (1967)
- POWELL, A.J., BLASER, R.E. and SCHMIDT, R.E.: Physiological and color aspects of turfgrasses with fall and winter nitrogen.
Agronomy J. 59, 303-307 (1967)
- PRIDHAM, J.B. and HASSID, W.Z.: Biosynthesis of raffinose.
Plant Physiol. 40, 984-986 (1965)

- PRIDHAM, J.B., WALTER, M.W. and WORTH, H.G.J.: The metabolism of raffinose and sucrose in germinating broad-bean (*Vicia faba*) seeds. *J. Exp. Bot.* 20, 317-324 (1969)
- PUCHER, G.W. LEAVENWORTH, C.S. and VICKERY, H.B.: Determination of starch in plant tissues. *Analyt. Chem.* 20, 850-853 (1948)
- RECONDO, E. and LELOIR, L.F.: Adenosine diphosphate glucose and starch synthesis. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 6, 85-88 (1961)
- RICHTER, G.: Stoffwechselphysiologie der Pflanzen. Thieme - Verlag, Stuttgart (1969)
- RONGINE DE FEKETE, M.A., LELOIR, L.F. and CARDINI, C.E.: Mechanism of starch biosynthesis. *Nature* 187, 918-919 (1960)
- SABBE, W.E. and CATHEY, G.W.: Adaption of gas-liquid chromatography to analysis of certain sugars of cotton leaves. *Agronomy J.* 62, 36-39 (1970)
- SADIK, S. and OZBUN, J.L.: The association of carbohydrate changes in the shoot tip of cauliflower with flowering. *Plant Physiol.* 43, 1696-1698 (1968)
- SAUNDERS, R.M.: Separation of sugars on an ionexchange resin. *Carbohydrate Res.* 7, 76-79 (1968)
- SCHECK, H.: Über den Einfluß des Kaliums auf den Kohlenhydratstoffwechsel und auf die Karbohydrasen bei Kulturpflanzen. *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd.* 60, 209-220 (1953)
- SCHEFFER, F., WELTE, E. und MÜLLER, K.: Zur Methodik der papierchromatographischen Bestimmung von Mono- und Oligosacchariden in grünen Pflanzen und Früchten. *Analyt. Chem.* 165, 321-337 (1959)
- SCHLUBACH, H.H.: Der Kohlenhydratstoffwechsel der Gräser. *Fortschr. Chem. org. Naturstoffe* 15, 1-30 (1958)
- SCHLUBACH, H.H.: Der Kohlenhydratstoffwechsel in Roggen und Weizen. *Fortschr. Chem. org. Naturstoffe* 19, 291-315 (1961)
- SCHLUBACH, H.H. und GASSMANN, L.: Untersuchungen über Polyfruktosane. XXXIV. Über das Poain P. *Liebigs Ann. Chem.* 583, 81-87 (1953)

- SCHLUBACH, H.H., LÜBBERS, H. und BOROWSKI, H.: Untersuchungen über Polyfruktosane. XLIV. Die niedermolekularen Kohlenhydrate in *Lolium perenne*.
Liebigs Ann. Chem. 595, 229-236 (1955)
- SCHLUBACH, H.H. und LEDERER, F.: Der Kohlenhydratstoffwechsel im Weizen.
Liebigs Ann. Chem. 635, 154-165 (1960)
- SCHLUBACH, H.H. und BERNDT, J.: Der Kohlenhydratstoffwechsel im Hafer.
Liebigs Ann. Chem. 647, 41-50 (1961)
- SCHMIDHAUSER, T.: Natur und Verteilung der löslichen Kohlenhydrate im ruhenden und keimenden Gerstenkorn.
Ber. schweiz. bot. Ges. 65, 302-342 (1955)
- SCHULZE, W.: Stickstoffdüngung und Zuckerbildung bei Mais.
Albrecht Thaer-Archiv 8, 711-723 (1964)
- SEIFTER, S., DAYTON, S., NORIC, B. and MUNTWYLER, E.:
The estimation of glycogen with the anthrone reagent.
Arch. Biochem. Biophys. 25, 191-200 (1950)
- SENER, M. und KANDLER, O.: Galaktinol, ein Galaktosyldonor für die Biosynthese der Zucker der Raffinosefamilie in Blättern.
Z. Pflanzenphysiol. 57, 376-388 (1967)
- SHALLENBERGER, R.S. and MOYER, J.C.: Sugar-starch transformations in peas. Relation between changes in glucose, fructose, galactose, sucrose and stachyose, and the formation of starch in peas.
J. Agric. Food Chem. 9, 137-140 (1961)
- SHIROYA, T.: Metabolism of raffinose in cotton seeds.
Phytochemistry 2, 33-46 (1963)
- SMITH, D. and GROTELUESCHEN, R.D.: Carbohydrates in grasses. I. Sugar and fructosan composition of the stem bases of several northern-adapted grasses at seed maturity.
Crop Sci. 6, 263-266 (1966)
- SOUTHGATE, D.A.T.: Determination of carbohydrates in foods.
J. Sci. Fd. Agric. 20, 326-335 (1969)
- STAHL, E.: Dünnschichtchromatographie.
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1967)
- STANEK, J., CERNY, M., KOCOUREK, J. and PACAK, J.:
The Monosaccharides.
Academic Press, New York (1963)

- STANGE, L.: Kohlenhydrate. In: Linskens, H.F.: Papierchromatographie in der Botanik. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1959)
- STEINER, E.R. and GUTHRIE, I.D. : I. Starch, general method of Steiner and Guthrie. In: Paech, K. und Tracey, M.V.: Moderne Methoden der Pflanzenanalyse. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg (1955)
- STEUBING, L.: Pflanzenökologisches Praktikum. Verlag Paul Parey, Berlin-Hamburg (1965)
- STEVENS, D.J.: Free sugars of wheat aleurone cells. J. Sci. Fd. Agric. 21, 31-34 (1970)
- STOESSER, R. und NEUBELLER, J.: Über den Einfluß der Embryo- und Endospermentwicklung auf die Zuckerspeicherung und -verteilung in Kirschfrüchten. Angew. Botanik 44, 293-302 (1971)
- STROH, H.H. und SCHÜLER, W.: Über die Dünnschichtchromatographie von Zuckern und Zuckerphenylhydrazonen. Analyt. Chem. 211, 285-286 (1965)
- TANNER, W.: Die Biosynthese der Stachyose. Ber. dtsch. bot. Ges. 80, 111 (1967)
- TÄUFEL, K., STEINBACH, K.J. und VOGEL, E.: Mono- und Oligosaccharide einiger Leguminosensamen sowie ihr Verhalten bei Lagerung und Keimung. Z. Lebensm.-Untersuchg. 112, 31-40 (1960)
- TÄUFEL, K., TÄUFEL, A. und RUTTLOFF, H.: Physiologisch-chemische Studien über die "Raffinose-Familie". Planta 58, 127-135 (1962)
- TOMBESI, L., CALE, M.T. and TIBORNE, B.: Effects of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers on the assimilation capacity of Beta vulgaris chloroplasts I. Plant and Soil 31, 65-76 (1969)
- TORE, J.P.: Dünnschichtchromatographische Trennung von Zuckergemischen. Analyt. Chem. 207, 223 (1965)
- TRIONE, E.J.: Metabolic changes associated with vernalization of wheat. I. Carbohydrate and nitrogen patterns. Plant Physiol. 41, 277-281 (1966)
- UENO, M. and SMITH, D.: Growth and carbohydrate changes in the root wood and bark of different sized alfalfa plants during regrowth after cutting. Crop Sci. 10, 396-399 (1970)

- UENO, M. and SMITH, D.: Influence of temperatur on seedling growth and carbohydrate composition of three alfalfa cultivars.
Agronomy J. 62, 764-767 (1970)
- VOMHOF, D.W. and TUCKER, T.C.: The separation of simple sugars by cellulose thin layer chromatography.
J. Chromatogr. 17, 300-306 (1965)
- WAITE, R.: The water soluble carbohydrates of grasses. IV. The effect of different levels of fertilizer treatments.
J. Sci. Fd. Agric. 9, 39-43 (1958)
- WALKER, H., RICCI, B.A. and GOODWIN, J.C.: Thin layer chromatography of sugar beet carbohydrates.
J. Amer. Soc. Sugar Beet Techn. 13, 503-508 (1965)
- WANNER, H.: Über die Genauigkeit quantitativer Zuckerbestimmungen in Pflanzen.
Helvet. Chim. Acta 35, 460-464 (1952)
- WASHÜTTL, J., BANCHER, E. und SCHMID, B.: Der Einfluß der ~~g~~-Bestrahlung auf den Mono-, Di- und Trisaccharidgehalt in Weizenkörnern und Weizenpflänzchen.
Angew. Botanik 43, 251-259 (1970)
- WEBSTER, J.E. and ELDER, W.C.: The carbohydrate and nutritive value of bermuda grass clippings as influenced by nitrogen fertilization and season of growth.
Plant Physiol. (Proc. of Ann. Meet.) 37, X (1962)
- WELTE, E. und MÜLLER, K.: Zur Frage der Stärkebestimmung in Kartoffeln.
Landw. Forsch. 14, 100-104 (1961)
- WERK, O.: Der Einfluß des Kaliums auf den Schwefelstoffwechsel, Kohlenhydrat- und Eiweißhaushalt.
Kali-Briefe, Fachgebiet 2, 7, 1-7 (1959)
- WHISTLER, R.L. and WOLFROM, M.L.: Methods in carbohydrate chemistry.
Academic Press, New York, Bde. 1-5, (1962-65)
- WILSON, C.M.: Quantitative determination of sugars on paper chromatograms.
Analyt. Chem. 31, 1199-1201 (1959)
- WITT, N.: Untersuchung über den Zuckergehalt von Wiesenpflanzen.
Landw. Zentralbl., Abtlg. II, 3, 157 (1967)
- WOHNICH, J.J.: Dünnschichtchromatographie auf rauhem Glas zur Trennung kleinster Mengen Zucker und Aminosäuren.
Analyt. Chem. 227, 440 (1967)

- WOODHAMS, D.H. and KOZLOWSKI, T.T.: Effects of soil moisture stress on carbohydrate development and growth in plants.
Amer. J. Bot. 41, 316-320 (1954)
- YEMM, E.W. and WILLIS, A.J.: The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone.
Biochem. J. 57, 508-514 (1954)
- ZANONI, L.J., MICHELSON, L.F., COLBY, W.G. and DRAKE, M.: Factors affecting carbohydrate reserves of cool season turfgrasses.
Agronomy J. 61, 195-198 (1969)

Danksagung

Aufgrund einer freundlichen Übereinkunft zwischen Frau Prof. Dr. L. Steubing, Lehrstuhl II für Botanik am Botanischen Institut der Justus Liebig-Universität Gießen und Herrn Prof. Dr. K. Mengel, Direktor der Landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Bünthof in Hannover konnten die Untersuchungen, die dem Interesse beider Arbeitskreise entsprechen, durchgeführt werden.

Frau Prof. Dr. L. Steubing und Herrn Prof. Dr. K. Mengel danke ich deshalb für das entgegengebrachte Interesse am Fortgang dieser Arbeit. Herrn Prof. Dr. K. Mengel gilt weiterhin für die Überlassung des Themas, für wertvolle Anregungen sowie die stete Förderung der Arbeit mein besonderer Dank.

Ich bedanke mich ferner vielmals bei Herrn Prof. Dr. K. Jeremias, der mir in seinem Institut in Stuttgart die Möglichkeit bot, meine Kenntnisse der Zuckerchromatographie zu vertiefen.

Den Mitarbeitern der "Landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Bünthof" danke ich für ihre große Hilfsbereitschaft bei der Durchführung der Untersuchungen sowie für das Erledigen der Schreibarbeiten des Manuskriptes.

Nicht zuletzt gilt mein Dank der KALI und SALZ AG. in Hannover, die mir durch ihre finanzielle Unterstützung und das Bereitstellen des Arbeitsplatzes das Anfertigen der vorliegenden Arbeit ermöglichte.

Lebenslauf

Am 13.2.1941 wurde ich, Günther Hehl, als Sohn des Arztes Dr. med. Otto Hehl und seiner Ehefrau Hedwig, geb. Stanczak, in Freiwalldau/CSR geboren. Nach der Ausweisung aus dem Sudetenland besuchte ich vom Herbst 1947 bis zum Frühjahr 1952 die Volksschule in Eberstadt bei Gießen. Ich wechselte auf das Gymnasium in Butzbach über und erlangte dort im Jahre 1961 das Zeugnis der Reife. Im Sommersemester 1961 begann ich mit dem Studium der Biologie an der Justus Liebig-Universität in Gießen/Lahn, wo ich im Frühjahr 1968 die Diplomprüfung ablegte. Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit führte ich in der Landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Büntehof, Hannover, durch.

